



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA PŘÍRUBY PŘESNÝM STŘÍHÁNÍM

THE MANUFACTURING OF A FLANGE BY FINEBLANKING TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. TOMÁŠ POVALAČ

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Tomáš Povalač

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Výroba příruby přesným stříháním**

v anglickém jazyce:

#### **The manufacturing of a flange by fineblanking technology**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby příruby pro držák palivového rozvodu automobilu. Součást je nepravidelného tvaru s vnitřními tvarovými otvory vyrobena z nerezového plechu tloušťky 5 mm. Zadaná součást bude vyráběna technologií přesného stříhání a na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie a potřebné výpočty.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii přesného stříhání. Zhodnocení současné technologie výroby. Návrh technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby. Provedení technologických a kontrolních výpočtů, volba stroje a návrh vhodného nástroje pro výrobu zadané součásti. Porovnání nově navržené technologie s technologií stávající, doplněné technicko-ekonomickým hodnocením. Závěr.

Seznam odborné literatury:

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practice: Processes, machines, tools. 7 th. Germany: Springer-Verlag Berlin, 2005. ISBN 3-540-33216-2.

BIRZER, Franz. Forming and Fineblanking: Cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. Germany: Verlag moderne industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal forming: Mechanics and Metallurgy. 3th ed. New York: Cambridge university press, 2007. 365 s. ISBN-13 978-0-521-88121-0, ISBN-10 0-521-88121-8

NOVOTNÝ, Josef. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.

KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 1993. ISBN 80-01-01003-1. s. 349.

STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: Tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. s. 126. ISBN 80-7082-738-6.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 5.11.2012

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

**POVALAČ Tomáš: Výroba příruby přesným stříháním.**

---

Cílem projektu je navrhnout novou technologii pro výrobu příruby. Příruba je vyráběna z nerezového plechu 17 040 o tloušťce 5 mm a roční výrobní dávce 800 000 ks. Pro novou výrobu byla zvolena technologie přesného stříhání s nátlacnou hranou. Pro navrhovanou technologii byly navrženy technologické a konstrukční rozměry. Ke stříhání dochází na automatické výrobní lince, kterou tvoří odvíjecí a rovnací zařízení, trojčinný mechanický lis a navíjecí zařízení. Součást je stříhána v nástroji, který je umístěn v lisu, na jeden pracovní zdvih stroje. Ekonomické zhodnocení porovnává současnou výrobu součástí s nově navrženou technologií, kde nová technologie vychází ekonomicky výhodnější.

**Klíčová slova:** Příruba, přesné stříhání, plošné tváření, ocel 17 040, nátlacná hrana.

## **ABSTRACT**

**POVALAČ Tomáš: The manufacturing of a flange by fineblanking technology.**

---

Aim of the project is to design new flange manufacturing technology. The flange is manufactured from stainless sheet 17 040 with 5 mm thickness and annual production batch of 800 000 pieces. Fineblanking process has been proposed as a new production technology. Technological and construction dimensions have been designed for the proposed technology. The fineblanking process is done by automated machine which consist of unwinding and straightening device, mechanical punch press and winding device. The manufactured part is punch pressed by tool which is located in the punch press in one lift. An economic evaluation compares current manufacturing technology with the proposed technology which is more economically convenient.

**Keywords:** Flange, fineblanking process, steel 17 040, V-ring, surface forming.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

POVALAČ, Tomáš. *Výroba příruby přesným stříháním*. Brno, 2013. 69 s, 4 výkresy, 14 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Obor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí Ing. Eva Peterková, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 23.5.2013

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

## **OBSAH**

**Zadání**

**Abstrakt**

**Bibliografická citace**

**Čestné prohlášení**

**Poděkování**

**Obsah**

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
-------------------	-----------

<b>1 ZHODNOCENÍ SOUČÁSTI.....</b>	<b>11</b>
-----------------------------------	-----------

1.1 Varianty výroby .....	11
---------------------------	----

<b>2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ.....</b>	<b>15</b>
------------------------------------	-----------

2.1 Průběh stříhání .....	15
---------------------------	----

2.1.1 Střížná síla.....	16
-------------------------	----

2.1.2 Střížná práce.....	18
--------------------------	----

2.1.3 Střížná vůle .....	19
--------------------------	----

2.2 Metody technologie přesného stříhání .....	21
--	----

2.2.1 Přesné stříhání s nátlacnou hranou.....	21
---	----

2.2.2 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou .....	21
---	----

2.2.3 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem .....	22
--	----

2.2.4 Přistřihování.....	22
--------------------------	----

2.2.5 Kalibrování otvorů .....	23
--------------------------------	----

2.3 Technologie přesného stříhání s nátlacnou hranou.....	23
---	----

2.3.1 Princip a postup přesného stříhání s nátlacnou hranou .....	24
---	----

2.3.2 Rozbor stavu napjatosti při stříhání s nátlacnou hranou .....	25
---	----

2.3.3 Působící síly .....	26
---------------------------	----

2.3.4 Celková vynaložená práce .....	27
--------------------------------------	----

2.3.5 Střížná vůle .....	28
--------------------------	----

2.3.6 Tvar, poloha a rozměry nátlacné hrany.....	28
--	----

2.3.7 Velikost postranního odpadu a šířky můstku .....	31
--	----

2.3.8 Technologičnost tvaru součástí.....	31
---	----

2.3.9 Jakost povrchu přesně stříhaných ploch .....	33
--	----

2.3.10 Materiály vhodné pro přesné vystřihování .....	34
---	----

2.3.11 Vady výstřížků při přesném stříhání .....	36
--	----

2.3.12 Nástroje pro přesné stříhání .....	37
---	----

<b>3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ .....</b>	<b>41</b>
-------------------------------------	-----------

3.1 Nástřihový plán.....	41
--------------------------	----

<b>4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI .....</b>	<b>43</b>
---	-----------

4.1 Kontrola vhodnosti součástí.....	43
--------------------------------------	----

4.2 Kontrolní a technologické výpočty .....	44
---	----

4.2.1 Určení plochy součástí, délky křivky stříhu a délky nátlacné hrany.....	44
---	----

4.2.2 Výpočet střížných sil a střížné práce.....	45
--	----

4.2.3 Technologické parametry nástroje .....	47
--	----

4.2.4 Nástřihový plán.....	48
----------------------------	----

4.2.5 Pevnostní výpočty funkčních částí nástroje .....	52
--	----



4.3 Princip nástroje.....	56
4.4 Volba stroje .....	57
4.5 Výrobní linka .....	58
<b>5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....</b>	<b>59</b>
5.1 Přímé náklady .....	59
5.1.1 Náklady na materiál .....	59
5.1.2 Mzdové náklady.....	62
5.2 Nepřímé náklady.....	64
5.2.1 Náklady na nástroj .....	64
5.3 Celkové náklady.....	65
5.4 Cena součásti.....	66
5.5 Stanovení bodu zvratu .....	67
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>69</b>

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

## ÚVOD [5], [32]

Oblast strojírenské technologie se zabývá zpracováním a výrobou kovů. Tato oblast se dělí na dva hlavní směry, a to na technologii třískového obrábění a technologii tváření. Tyto dvě technologie se od sebe významně odlišují. Při obrábění dochází k úběru materiálu, přičemž při tváření je materiál působením vnějších sil a zatížení uveden do plastického stavu, ve kterém mění své vlastnosti a především tvar. Dochází k přetvoření materiálu na požadovaný tvar součásti bez porušení soudržnosti.

Technologie tváření se významně podílí na produkci strojních a spojovacích součástí z kovů a jejich slitin. Součásti vyráběné tvářením splňují i ty nejnáročnější požadavky na mechanické vlastnosti, přesnost a geometrii tvaru. Tvářením lze dosahovat velmi vysoké produktivity při nízkých kusových nákladech, dochází k velké úspoře materiálu a malé spotřebě výrobních energií. Jednou z nevýhod jsou větší náklady na konstrukci a výrobu tvářecích nástrojů.

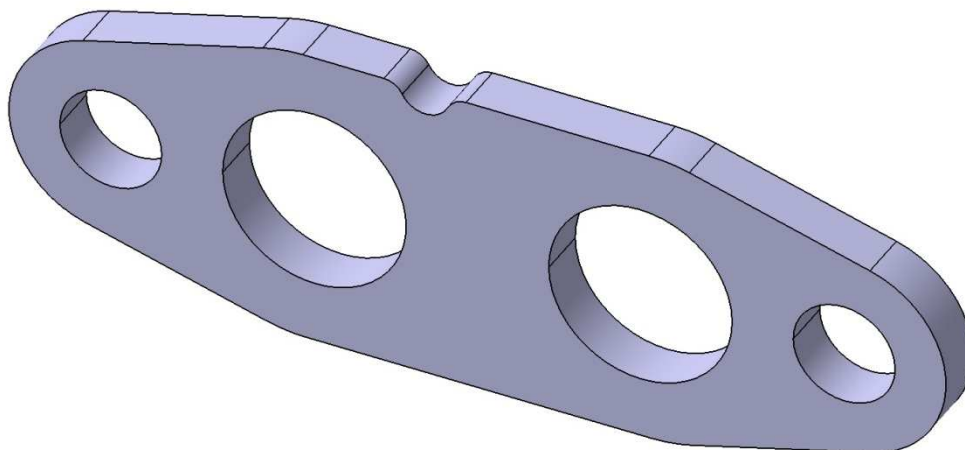
Technologie tváření se dělí na objemové a plošné tváření za studena a za tepla. Při objemovém tváření nastává deformace ve směru všech tří os souřadného systému, patří zde tažení drátů, válcování, protlačování a kování. Přičemž u plošného tváření převládají deformace ve dvou směrech a zde patří technologie ohýbání, tažení, stříhání a tváření nekonvenčními technologiemi. Do technologie plošného tváření se zahrnuje i technologie přesného stříhání, na kterou je zaměřena tato práce. Na obr. 1 je uvedeno několik příkladů dílců vyráběných technologií přesného stříhání.



Obr. 1 Příklady dílců vyráběných přesným stříháním [28], [29]

## 1 ZHODNOCENÍ SOUČÁSTI [10], [11]

Součást je příruba pro držák palivového rozvodu automobilu, která je nepravidelného tvaru s vnitřními otvory. Otvory pravděpodobně slouží k uchycení palivových rozvodů, vzdálenost mezi otvory je v toleranci  $\pm 0,05$  mm. Otvory mají toleranci H7. Roční výrobní série bude 800 000 ks. Z hlediska vzhledu je důležitá nepoškozená součást bez viditelných vad na střížných plochách. Tvar součásti je na obr. 2.



Obr. 2 Model vyráběné součásti

Součást bude vyráběna z plechu tloušťky 5 mm. Materiál na výrobu součásti byl zvolen nerezová ocel X6Cr17 (17 040), dle ČSN EN 10088-1. Jde o feritickou ocel svařitelnou běžnými způsoby. V oblasti svaru má sníženou tažnost, což je způsobeno tepelným ovlivněním. V tepelně ovlivněné oblasti dochází ke zhrubnutí zrna a tím i ke snížení pevnosti a tažnosti. V tabulce tab. 1.1 jsou uvedeny mechanické vlastnosti a chemické složení oceli X6Cr17. Další informace k materiálu jsou v příloze č.7.

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu [10], [11]

Označení	X6Cr17 (17 040)
Chemické složení	$\leq 0,08\%$ C; $\leq 1,0\%$ Si; $\leq 1,0\%$ Mn; $\leq 0,04\%$ P; $\leq 0,015\%$ S; 16 ÷ 18% Cr
Mez pevnosti $R_m$	430 ÷ 630 MPa
Mez kluzu $R_{p0,2}$	min. 240 MPa
Tažnost A	min. 20 %

Uvedená nerezová ocel je vhodná ke stříhání, ohýbání a k hlubokému tažení. Povrch je vysoce leštitelný.

### 1.1 VARIANTY VÝROBY

Zadaná součást může být vyráběna několika různými technologiemi, a to klasickými metodami jako jsou postupové a přesné stříhání. Nebo nekonvenčními technologiemi jako jsou řezání laserovým nebo vodním paprskem.

## Řezání laserovým paprskem [22], [23]

Laser je optický zdroj elektromagnetického záření tj. světla v širším smyslu. Světlo je z laseru vyzařováno ve formě úzkého svazku, na rozdíl od světla přirozených zdrojů je koherentní a monochromatické. Z toho tedy vyplývá že laser je optický zdroj emitující fotony v koherentní paprsek.

Základem každého řezacího systému je zdroj laserového svazku tzv. rezonátor. Paprsek je z rezonátoru systémem zrcadel doveden až k řezací hlavě nesené na portálu řezacího stolu. Dnes používané CNC stoly určené pro řezání ve 2D jsou v zásadě dvou koncepcí s tzv.: hybridní optikou, kdy v jedné ose vykonává pohyb upnutý materiál a v druhé se pohybuje řezná hlava nebo s tzv. létající optikou, kdy pohyb v obou osách vykonává řezná hlava. V řezné hlavě je paprsek zaostřen do technologicky přesně definovaného ohniska závislého na typu a tloušťce materiálu. Působením soustředěné energie laserového paprsku je řezný materiál:



Obr. 3 Řezání laserem [23]

- taven a řezná spára je průběžně "profukována" asistenčním inertním plynem nejčastěji dusíkem - tzv. "tavné řezání" (čisté nezoxidované lesklé řezy),
- taven a zároveň spalován kyslíkem coby asistenčním plynem při tzv. "oxidačním řezání" (řezy s patrnou stopou oxidace),
- případně je taven a odpařován při méně používaném řezání "sublimačním".

### Výhody:

- řezání velmi malých otvorů, pásků, tvarů s ostrými úhly,
- vysoká kvalita řezaných hran,
- velmi malé přivedené teplo, žádné deformace obráběného předmětu,
- řezání složitých tvarů,
- vysoká řezná rychlost,
- řezání různých materiálů,
- malý prořez.

### Nevýhody:

- vysoké investiční a provozní náklady,
- omezené tloušťky materiálu: hliník 10 mm, vysokolegovaná ocel 15 mm, konstrukční ocel 25 mm,
- přesné řízení vzdálenosti k povrchu obrobku.

## Řezání vodním paprskem [24], [25]

Podstatou dělení materiálů je obrušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku. Tento proces je v podstatě stejný jako vodní eroze ale značně zrychlený a soustředěný do jednoho místa. Řezání probíhá nejčastěji na CNC řízených stolech. Pracovní tlak vody se pohybuje v rozmezí 2000 - 6200 Bar. Tlakovým zdrojem jsou speciální vysokotlaká čerpadla, která se liší příkonem a průtokem vody. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené řezací

tryskou. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek. Vhodnou abrazivní příměsí je přírodní olivín nebo přírodní granát – volba závisí na tvrdosti děleného materiálu. Pohyb řezací hlavy a tedy i dráha řezu je řízena počítačem na základě předem sestaveného programu. Je možné tedy provést i ten tvarově nejnáročnější řez během jedné operace.

#### Výhody:

- řezání bez tepelného ovlivnění řezaného materiálu, tzv. studený řez,
- minimální silové působení paprsku na řezaný materiál, nedochází ke vzniku mikrotrhlin,
- univerzálnost – paprsek dělí většinu materiálů při velkém rozsahu řezaných tloušťek,
- malý prořez materiálu a z toho vyplývající vysoké využití polotovaru – mezi jednotlivými výrobky se ponechávají mezery cca. 3 mm.

#### Nevýhody:

- nevyhnutelný kontakt s vodou,
- kovové materiály nutno vhodně ošetřit,
- delší vysoušení u nasákavých materiálů.

### **Postupové stříhání [8], [14]**

Stříhání patří k nejčastěji používaným technologiím tváření a zároveň bezodpadového dělení materiálu. Při stříhání dochází k oddělování částí materiálu působením protilehlých řezných hran způsobujících v řezné rovině smykové napětí.

Při postupovém stříhání se výstřížek zhotovuje postupně. V prvním kroku dochází k děrování a v následujícím k vystřížení odvodu součásti. Postupové stříhání se provádí ve střížném nástroji. Do nástroje je vkládán pás plechu, který je veden ve vodících lištách. K vymezení plechu v nástroji slouží načínací doraz, jenž zajišťuje polohu plechu pro vykonání první operace. V dalším průběhu je poloha pásu zajištěna koncovým dorazem.

Z důvodů lomu již v ohnisku plastické deformace je kvalita střížné plochy u postupového stříhání horší. Na kvalitu střížné plochy má vliv střížná vůle, mechanické vlastnosti materiálu, rychlost stříhání a geometrie výstřížku. Při stříhání součástí z materiálu o tloušťce do 4 mm se dosahuje přesnosti v rozmezí tolerance IT 12 až IT14.

#### Výhody:

- výroba nástroje finančně nenáročná,
- jednoduchá konstrukce nástroje,
- snadná údržba nástroje.

#### Nevýhody:

- horší kvalita střížné plochy,
- malá produktivita,
- horší rozměrová přesnost výstřížků.

Na zadanou součást jsou kladeny vyšší nároky na rozměrovou přesnost funkčních částí. A proto technologie postupového stříhání není dostačující pro výrobu dané součásti a je potřeba ji kombinovat s třískovým obráběním.

### **Přesné stříhání [3], [26], [27]**

Přesné stříhání je moderní produktivní technologie, která překvapuje svou precizností. Přesně stříhaná součást má jen velmi málo společného s konvenčně stříhaným dílem. Svou kvalitou střížné plochy, dosahuje kvality běžně obráběných součástí, viz obr. 4.

Pod pojmem technologie přesného stříhání se rozumí souhrn metod stříhání pásů a plechů ve stříhadlech. Těmito technologiemi lze dosáhnout rozměrové přesnosti vystřižených součástí v rozmezí IT6 až IT9. Tolerance IT6 je pro tloušťky plechu do 1 mm a IT9 pro větší tloušťky a to až do 6 mm. K přesnému stříhání se hodí součásti, které by při užití jiných technologií výroby měly velké procento odpadu a vyžadovaly by více dokončovacích operací (broušení,



protahování, vystružování atd.), technologie přesného stříhání jsou tedy ekonomicky výhodné.

Obr. 4 Dílce stříhání přesným stříháním [27]

#### Metody přesného stříhání:

- stříhání se zaoblenou střížnou hranou,
- stříhání se zkoseným přidržovačem,
- kalibrování otvorů,
- přistřihování,
- přesné stříhání s tlačnou (nátlačnou) hranou.

#### Výhody:

- rozměrová a tvarová přesnost výstřižků,
- kvalita střížných ploch,
- vhodné pro velkosériovou výrobu,
- vysoce produktivní.

#### Nevýhody:

- finančně náročná výroba nástroje.

### **Vyhodnocení variant**

Součást je v současnosti vyráběna postupovým stříháním, kterým nelze dosáhnout požadované přesnosti a kvality výstřižku. Z toho důvodu jsou do výrobního postupu zařazeny obráběcí operace, což prodlužuje výrobní časy a tím prodražuje celou výrobu. Řezání laserem a vodním paprskem jsou moderní technologie, kterými lze řezat různě složité tvary součástí s vysokou tvarovou a rozměrovou přesností. Tyto technologie mají malý prořez materiálu, z čehož plyne vysoké využití materiálu. Nevýhodou obou technologií jsou vysoké pořizovací náklady stroje a náklady na provoz stroje.

Po zhodnocení všech aspektů jako je materiál, tvar součásti, rozměrové přesnosti zadané součásti, výhod a nevýhod jednotlivých výrobních technologií je pro zadanou součást zvolena výroba přesným stříháním s nátlačnou hranou.

## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [1], [2], [3], [4]

Stříhání patří do skupiny plošného tváření. Je to technologická operace, při které dochází k oddělování materiálu protilehlými břity nožů. Při stříhání se vtlačují do materiálu břity nožů nůžek nebo střížné hrany nástrojů a tím dochází k postupnému nebo současnému oddělování materiálu v celém průřezu. Pohybem nožů proti sobě je ve stříhaném materiálu vyvozeno potřebné střížné (smykové) napětí, které dává impuls ke vzniku lomových trhlin. Pro dosažení kvalitního stříhu musí být zajištěny potřebné podmínky a to především ostří nožů, velikost střížné vůle, dostatečná střížná síla nebo vhodný materiál a způsob stříhání. Nedodržení těchto podmínek může mít za následek nekvalitní střížnou plochu, vylomení břitů nožů a také zničení střížného nástroje.

Podle tvaru křivky stříhu rozlišujeme:

- Stříhání, kde se materiál úplně oddělí podél uzavřené křivky stříhu (děrování, vystřihování nebo uzavření stříhání).
- Stříhání, kde se materiál úplně oddělí podél neuzavřené křivky stříhu (rozstřihování, nastřihování nebo otevření stříhání).

Podle způsobu stříhání rozeznáváme:

- Stříhání rovnoběžnými střížnými hranami – stejná vzdálenost mezi střížnými hranami.
- Stříhání se šikmými střížnými hranami – svírají spolu určitý úhel.

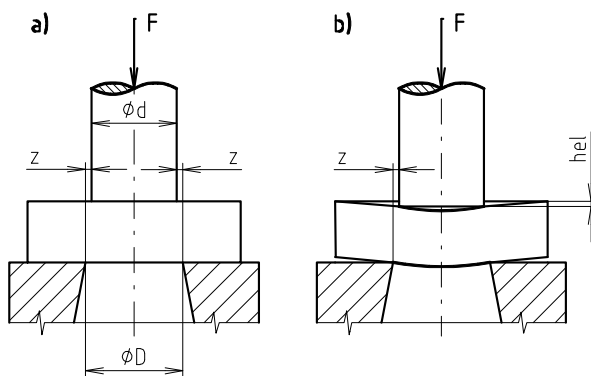
K dosažení kvalitní hladké střížné hrany a rozměrové přesnosti výstřížku používáme technologii přesného stříhání. Varianty technologie přesného stříhání jsou:

- přesné stříhání s tlačnou (nátlačnou) hranou,
- stříhání se zaoblenou střížnou hranou,
- přistřihování (s kladnou nebo zápornou vůlí),
- stříhání se zkoseným přidržovačem.

### 2.1 PRŮBĚH STŘÍHÁNÍ [2], [4], [5], [6]

Střížný proces začíná dosednutím střížníku na stříhaný materiál (plech), který leží na střížnici a končí oddělením materiálu. Celý proces lze rozdělit do třech fází. V první fázi dochází k pružné (elastické) deformaci, v dalším průběhu pak k trvalé (plastické) a celý proces je ukončen oddělením výstřížku od základního materiálu. Níže v textu budou jednotlivé fáze rozebrány podrobněji.

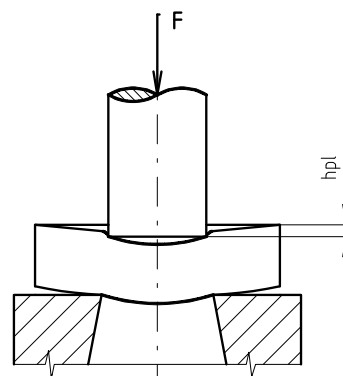
První fáze začíná dosednutím střížníku na materiál (obr. 5a). Střížník tlačí na plech a vyvolává v něm napětí, které je menší, jak mez pružnosti  $R_e$  a dochází k pružné deformaci. Hloubka vniknutí střížníku do stříhaného materiálu závisí především na mechanických vlastnostech daného materiálu. Nejčastěji se pohybuje v intervalu 5 až 8 % jeho tloušťky. Vlivem silových dvojic, které vznikají v rovinách kolmých ke střížným plochám se materiál mezi střížnicí a střížníkem



Obr. 5 První fáze stříhání – oblast pružné deformace [5]

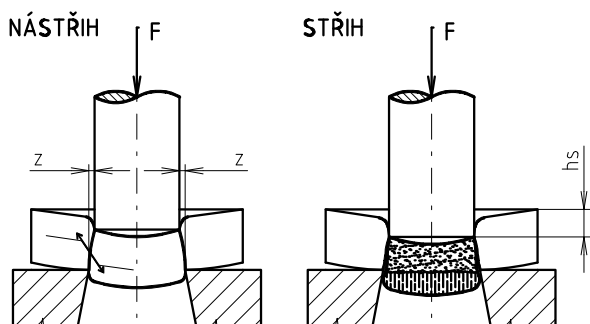
ohýbá. Tím vzniká na stříhaném materiálu zaoblení – na straně střížnice vytlačení materiálu a vtažením na straně střížníku, viz obr. 5b.

Ve druhé fázi vznikne ve stříhaném materiálu napětí větší, než je jeho mez kluzu  $R_e$  a dochází k trvalé deformaci materiálu. Hloubka plastického vniknutí se pohybuje v intervalu 10 až 25 % tloušťky stříhaného plechu. Na hloubku vniknutí mají vliv mechanické vlastnosti daného kovu. Na konci druhé fáze dosahuje napětí ve tvářeném materiálu hodnoty pevnosti ve stříhu, viz obr. 6.



Obr. 6 Druhá fáze – oblast plastických deformací [5]

V poslední třetí fázi pokračuje nárůst napětí. Materiál je namáhán nad mez pevnosti ve stříhu. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu se pohybuje v intervalu 10 až 60 % tloušťky stříhaného materiálu. Hloubka vniknutí závisí na druhu materiálu a jeho mechanických vlastnostech, ale také na velikosti střížné mezery, viz. obr. 7.

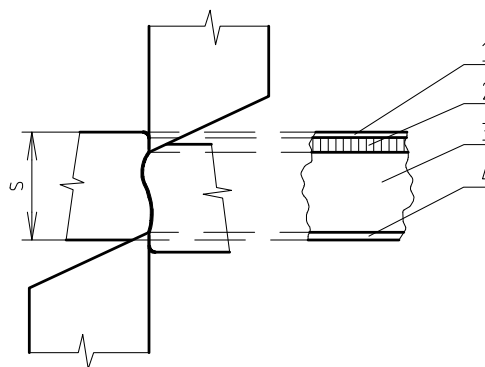


Obr. 7 Třetí fáze – oddělení materiálu [5]

Nejdříve vznikají mikroskopické a potom makroskopické trhliny, které se rychle prodlužují, než nastane oddělení výstřižku od výchozího materiálu. Rychlost vzniku a šíření trhlín je závislá na vlastnostech materiálu a také na velikosti střížné vůle  $v = 2z$ . Tvrdý a křehký materiál se oddělí okamžitě při nepatrném vniknutí

střížných hran ( $h_s = 10\% \cdot s$ ) a u měkkých a houževnatých materiálů je průběh šíření trhlín pozvolnější – hloubka vniknutí střížných hran je ( $h_s = 60\% \cdot s$ ).

Při stříhání je výstřižek oddělen od výchozího materiálu dříve, než projde střížník celou tloušťkou ( $s$ ) stříhaného materiálu, a proto není stříhaná plocha rovinná, ale má esovitý tvar viz. obr. 8. A to způsobuje, že drsnost po na celé ploše stříhu není rovnoměrná. Místa prvního výskytu trhlín jsou drsnější více, než místa další. Na ostřížené ploše jsou patrná deformační pásma, která jsou znázorněna na obr. 8



1-zaoblení; 2-utržení; 3-smyku; 4-otlačení

Obr. 8 Deformační pásma na střížné ploše [6]

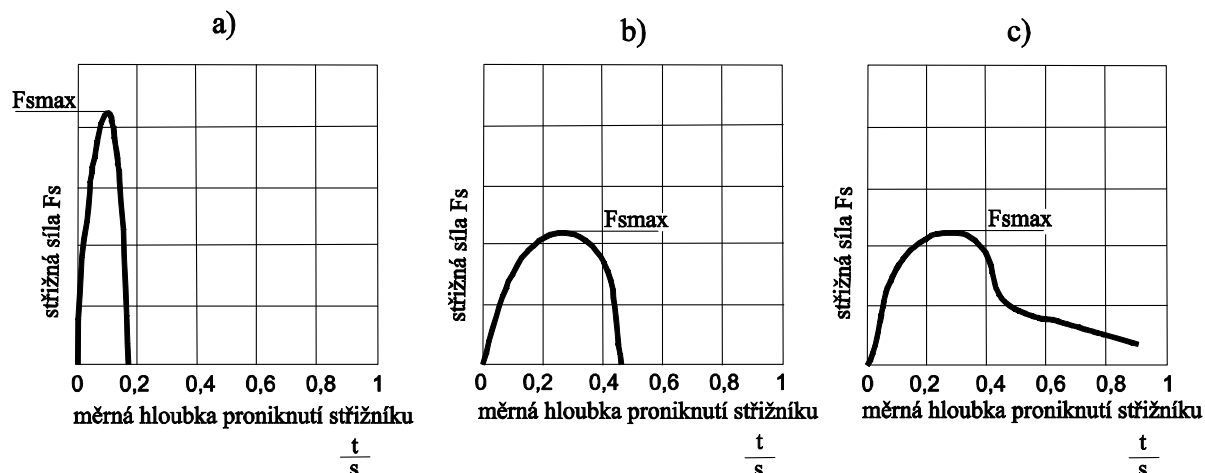
### 2.1.1 Střížná síla [2], [4], [5]

Velikost střížné síly se v průběhu pracovního zdvihu mění. Při stříhání nejprve dochází v pásmu stříhu k plastické deformaci, při níž síla přiměřeně stoupá. Když pronikne střížník do hloubky (5 až 8 % tloušťky stříhaného plechu) nastává deformace materiálu, při které napětí v pásmu stříhu odpovídá mezi kluzu. Střížná síla ovšem nedosáhne maxima, protože s plastickou deformací se zpevňuje stříhaný materiál, a tím stoupá jeho odpor ve stříhu. Zpočátku je růst střížného odporu větší než zmenšování průřezu během stříhání. S pokračujícím průběhem deformace se



zpevňování materiálu zpomaluje. Dojde k dosažení maximální střížné síly a po jejím dosažení dochází k jejímu poklesu. Podle velikosti střížné mezery a druhu stříhaného materiálu střížná síla více či méně prudce klesá.

Na obr. 9 je vidět diagram závislosti dráhy střížníku na střížné síle, na kterém je znázorněn průběh střížné síly během procesu stříhání.



Obr. 9 Diagram závislosti dráhy střížníku na střížné síle [2]

Křivka a (obr. 9) je charakteristická pro materiály s malou tvárností – tvrdé a křehké materiály. Vyznačuje se strmým nárůstem k maximu střížné síly a prudkým poklesem.

Křivka b (obr. 9) charakterizuje průběh střížné síly pro materiály s větší tvárností – měkké a houževnaté materiály, při větší střížné mezeře. Stoupající část křivky se zplošťuje, jakmile dosáhne meze kluzu  $R_e$ . Po dosažení maxima klesá střížná síla zpočátku jen pozvolna, poté dochází ke vzniku trhlinek a rychlému poklesu střížné síly.

Křivka c (obr. 9) platí pro tvárné materiály stejně jako křivka b, avšak pro malé střížné mezery. Stoupající část křivky a maximum střížné síly se téměř neliší od křivky b. Naopak se liší pokles. I po vzniku trhlinek v pásmu stříhu je pokles střížné síly méně rázný. Střížná síla klesne na nulu teprve tehdy, až dosáhne střížník střížnice.

Velikost a průběh střížné síly je potřeba znát při volbě pracovního lisu. Při stříhání nesmí být překročena jmenovitá síla lisu, jinak by mohlo dojít k jeho poškození. Průběh střížné síly v závislosti na dráze je znázorněn na obr. 10.

#### Stanovení střížné síly dle [5]:

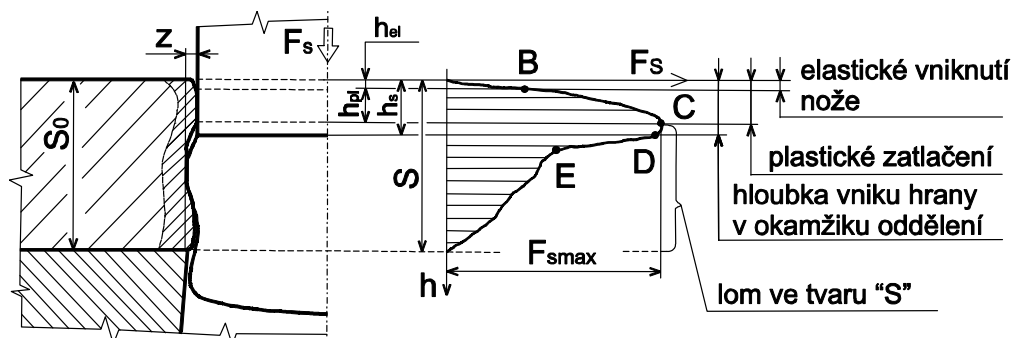
$$F_s = (s - h_s) \cdot n \cdot L \cdot \tau_s \quad (2.1)$$

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m \quad (2.2)$$

kde	$F_s$ .....střížná síla	[N]
	$s$ .....tloušťka materiálu	[mm]
	$h_s$ .....hloubka vniknutí střížné hrany (obr. 10)	[mm]
	$n$ .....koeficient vlivu vnějších podmínek	[-]
	$L$ .....délka křivky stříhu	[mm]
	$\tau_s$ .....pevnost ve stříhu	[MPa]
	$R_m$ .....mez pevnosti	[MPa]

Koeficient vlivu vnějších podmínek zohledňuje nerovnoměrnost tloušťky plechu, nerovnoměrnost napjatosti a zhoršení kvality ostří střížných hran. Volí se  $n = 1$  až 1,3.

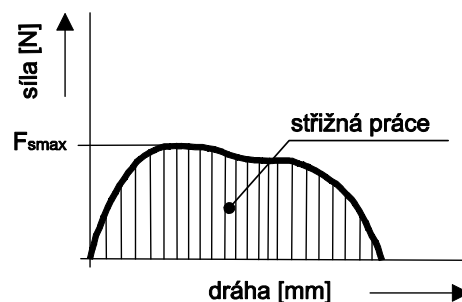
Střížnou sílu výrazně ovlivňuje ostrost střížných hran, úhel sklonu střížných hran, střížná mezera, dále pak také hloubka vniknutí střížníku do materiálu, délka střížné hrany a mechanické vlastnosti stříhaného materiálu.



Obr. 10 Průběh střížné síly v závislosti na dráze [7]

### 2.1.2 Střížná práce [2], [4], [5], [8]

Střížnou práci je potřeba znát pro určení typu lisu určeného pro danou operaci stříhání. Střížná práce je určena plochou pod křivkou znázorňující průběh střížné síly v závislosti na dráze, viz obr. 11. Dráhou je myšlena hloubka vniknutí střížníku do stříhaného materiálu.



Obr. 11 Diagram střížné práce [8]

#### Velikost střížné práce dle [5]:

- při stříhání rovnoběžnými střížnými hranami

$$A_s = F_{Smax} \cdot s \cdot \lambda \quad (2.3)$$

kde	$F_{Smax}$ .....	maximální střížná síla	[N]
	$s$ .....	tloušťka materiálu	[mm]
	$\lambda$ .....	součinitel plnosti diagramu	[-]
	$A_s$ .....	střížná práce	[J]

Součinitel plnosti ( $\lambda$ ) lze pro různé kovy určit z grafu závislosti na tloušťce stříhaného materiálu, viz příloha č. 8.

Další možný výpočet střížné práce, dle [4]:

$$A_s = \frac{F_{Smax} \cdot s \cdot K_A}{1000} \quad (2.4)$$

kde	$F_{Smax}$ .....	maximální střížná síla	[N]
	$s$ .....	tloušťka materiálu	[mm]
	$K_A$ .....	součinitel hloubky vtlačení (tab. 2.1)	[mm]
	$A_s$ .....	střížná práce	[J]

Tab. 2.1 Hloubka součinitele vtlačení  $K_A$  do materiálu, dle [4]:

Materiál	Tloušťka materiálu s [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel o pevnosti 250 ÷ 350 MPa (měkká)	0,70 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,35
Ocel o pevnosti 350 ÷ 500 MPa (středně tvrdá)	0,60 ÷ 0,55	0,55 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,42	0,40
Ocel o pevnosti 500 ÷ 700 MPa (tvrdá)	0,45 ÷ 0,42	0,42 ÷ 0,38	0,38 ÷ 0,33	0,30 ÷ 0,20
Hliník a měď v žíhaném stavu	0,75 ÷ 0,70	0,70 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,55	0,50

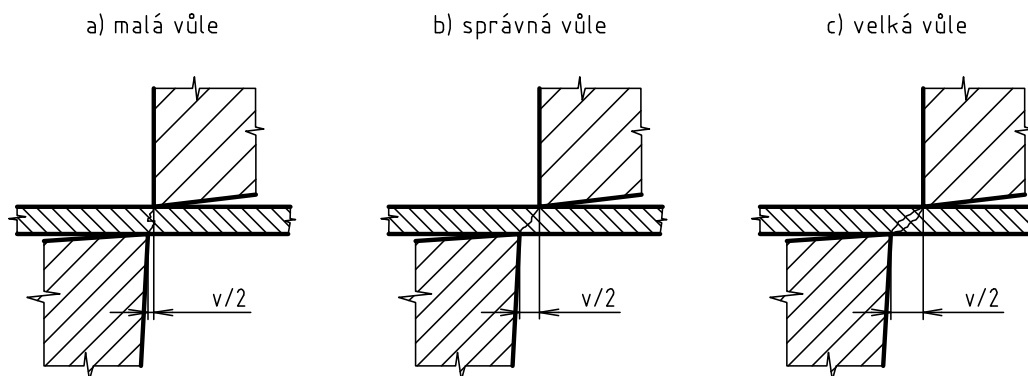
### 2.1.3 Střížná vůle [1], [4]

Střížná vůle je jedním z nejdůležitějších parametrů střížného procesu. Společně s mechanickými vlastnostmi materiálu, geometrií a rychlostí stříhání má výrazný vliv na kvalitu střížné plochy. Je určena rozdílem mezi rozměrem střížnice a střížníku, jednostranný rozdíl vytváří střížnou mezeru, viz rovnice (2.5). Velikost střížné vůle by měla být rovnoměrná po obvodu celé křivky stříhu, jinak může docházet ke vzniku ostřin a povrchových vad. Střížná vůle ovlivňuje také spotřebu energie, trvanlivost břitů a také velikost střížné síly. Se zvětšováním střížné vůle dochází také k nepatrnému nárůstu střížné síly a s tím související střížné práce. Střížná mezera je obecně dána jako poloviční hodnota střížné vůle.

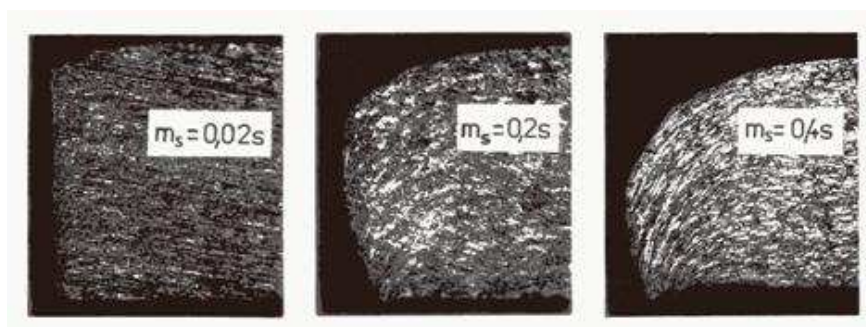
$$z = \frac{v}{2} \quad (2.5)$$

kde  $v$ .....střížná vůle [mm]  
 $z$ .....střížná mezera [mm]

Správná volba střížné vůle zaručuje, že se vznikající trhlínky potkají, čímž je zaručeno správné usmyknutí střížné plochy, viz obr. 12b). Přičemž u malé nebo velké střížné vůle nedojde ke spojení trhlinek a tím vzniká nerovnoměrný povrch. To ovlivňuje tvar a především rozměry součástí.



Obr. 12 Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle [4]



Obr. 13 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery [8]

### Stanovení velikosti střížné vůle

Velikost střížné vůle je závislá na mnoha činitelích, především na druhu materiálu a jeho tloušťce. Většinou se stanoví v procentech tloušťky stříhaného materiálu. Střížná vůle se volí buď podle tab. 2.2, nebo ji lze vypočítat pomocí výpočtových vztahů (2.6) a (2.7).

Stanovení střížné vůle pomocí vztahů dle Oehlera [4], [1]

- pro plechy do tloušťky 3 mm:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.6)$$

- pro plechy s tloušťkou větší jak 3 mm:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.7)$$

kde  $v$ .....střížná vůle [mm]  
 $z$ .....střížná mezera [mm]  
 $s$ .....tloušťka plechu [mm]  
 $\tau_s$ .....pevnosti ve stříhu [MPa]  
 $c$ .....součinitel závislý na druhu stříhání [-]

Součinitel závislý na druhu stříhání se volí v rozmezí 0,005 až 0,035. Nižší hodnoty se volí tehdy, chceme-li získat lepší střížnou plochu, vyšší hodnoty umožňují získání minimální střížné síly.

Tab. 2.2 Velikost střížné vůle [4]

	Druh materiálu	Střížná vůle v % s	
		Do 2,5 mm	2,5 ÷ 6 mm
	Ocel mekká	5	7 ÷ 8
	Ocel středně tvrdá	6	6 ÷ 8
	Ocel tvrdá	7 ÷ 9	7 ÷ 10
	Hliník	4 ÷ 7	5 ÷ 9
	Dural	7 ÷ 8	7 ÷ 10
	Měď měkká	4 ÷ 5	5 ÷ 6
	Měď polotvrdá a tvrdá	6 ÷ 7	6 ÷ 7
	Mosaz měkká	4 ÷ 5	4 ÷ 6
	Mosaz polotvrdá a tvrdá	5 ÷ 6	5 ÷ 7
	Papír a lepenka	2 ÷ 3	3
	Textil	2 ÷ 4	-

Optimální velikost střížné vůle se volí vzhledem k funkci střížného nástroje. Při otupených nebo zaoblených břitech musí být větší. Je-li vůle příliš malá, vznikají na střížné ploše přestřížené ohlazené prstence.

## 2.2 METODY TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ [3]

Úvod k problematice technologie přesného stříhání je již uveden v kapitole 1.1. Technologie přesného stříhání se používají zejména tam, kde je potřeba dosáhnout tvarové a rozměrové přesnosti, při vysoké produktivitě.

Metody přesného stříhání:

- stříhání se zaoblenou střížnou hranou,
- stříhání se zkoseným přidržovačem,
- kalibrování otvorů,
- přistříhování,
- přesné stříhání s tlačnou (nátlačnou) hranou.

### 2.2.1 Přesné stříhání s nátlačnou hranou [1], [2]

Tato technologie je ze všech metod přesného stříhání nejpoužívanější, protože pomocí ní lze získat velmi kvalitní střížné plochy a přesné rozměry výstřížku.

Vzhledem k zaměření diplomové práce na technologii přesného stříhání s nátlačnou hranou je tato problematika podrobněji rozebrána v kapitole 2.3.

### 2.2.2 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou [1], [3]

Při vystříhování se zaoblenými střížnými hranami na střížnici nebo střížníku (obr. 14) se dosáhne hladké a kolmé střížné plochy, neboť materiál je při vlastním stříhu částečně dopředně protlačován. Pomocí zaoblení střížných hran dochází k omezení vzniku střížných trhlin ve stříhaném materiálu. Vliv zaoblení na jakost povrchu střížné plochy je tím větší, čím menší je mezera ( $z$ ). Potřebný poloměr zaoblení střížné hrany se pohybuje mezi 15 až 20 % tloušťky materiálu podle tvaru součásti, jak uvádí autor [1]:

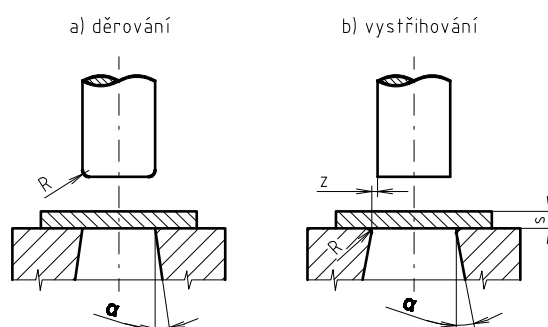
$$R = (0,15 \div 0,20) \cdot s \quad (2.8)$$

U tvarově složitějších součástí (zářezy či ostré přechody) se musí volit potřebný poloměr, dle autora [1]:

$$R = 0,25 \cdot s \quad (2.9)$$

kde  $R$ .....poloměr střížné hrany [mm]  
 $s$ .....tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Střížná mezera se musí pohybovat v intervalu 0,01 až 0,02 mm. Při velkém zaoblení dochází ke zvětšení střížné síly až o 15 % oproti konvenčnímu způsobu stříhání, a proto je potřeba střížnici bandážovat. Uvedený způsob stříhání je vhodný pro materiály s dostatečnou tvářitelností jako je měkká ocel, hliník a jeho slitiny.

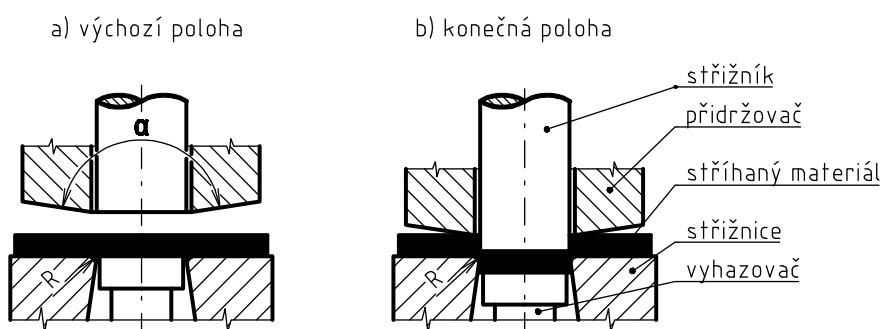


Obr. 14 Přesné stříhání se zaoblenými střížnými hranami [3]

Schéma přesného stříhání (vystříhování) se zaoblenými střížnými hranami pro hladké střížné plochy při děrování (a) a při vystříhování (b) je na obr. 14.

### 2.2.3 Přesné stříhání se zkoseným přídržovačem [1], [3]

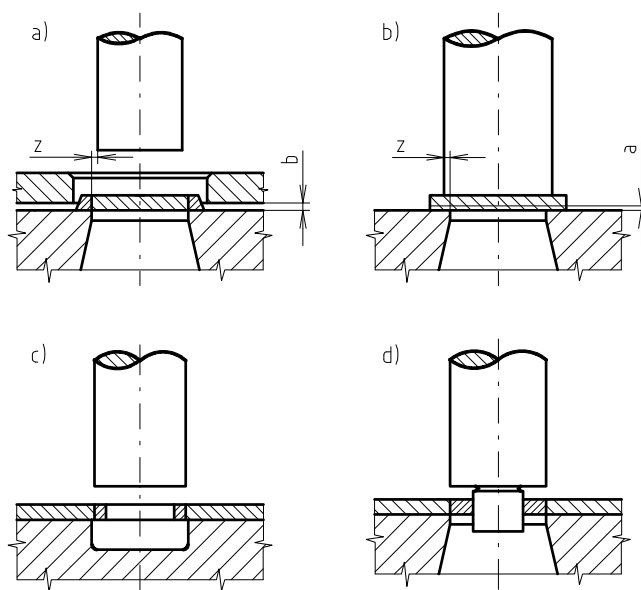
Zkosený přídržovač vyvozuje při stříhání dvojosý stav napjatosti. Vrcholový úhel přídržovače je  $\alpha = 178^\circ 30'$  a poloměr zaoblání střížné hrany na střížnici  $R \leq 0,01$  mm. Tahle technologie přesného stříhání se zkoseným přídržovačem není v praxi moc používána. Princip je znázorněn na obr. 15.



Obr. 15 Přesné stříhání se zkoseným přídržovačem [1]

### 2.2.4 Přistříhování [1], [2], [3]

Principem přistříhování je oddělování malého množství kovu (třísky) ze střížné plochy. Cílem je dosažení větší přesnosti a kvality povrchu střížné plochy bez mikrotrhlinek, zpevnění a vnitřních pnutí. Přistříhované plochy jsou přibližně kolmé k základní rovině, tj. protilehlé plochy jsou téměř rovnoběžné. Jakost povrchu odpovídá jakosti získané jemným obráběním. Nástroje se svou konstrukcí podobají stříhacím nástrojům, jako jsou děrovač, stříhadlo, ostříhovadlo a sloučená stříhadla. Technologie není vhodná pro velkosériovou výrobu a následuje převážně po konvenčním stříhání nebo obrábění.



Obr. 16 Způsoby přistříhování [3]

Obvykle se používá pouze jedna přistříhovací operace. Ve výjimečných případech se může využívat dvou nebo více operací. Většinou se tak děje z důvodů dosažení větší přesnosti nebo u tlustších plechů. Tloušťka odstřiženého materiálu se pohybuje v intervalu 0,1 až 0,5 mm. Je-li přídavek na přistřížení větší, než je přípustná tloušťka odstřížku (tedy  $> 0,5$  mm), je potřeba více přistříhů. Technologii přistříhování je možné provádět po otevřené i uzavřené čáře stříhu. Doporučuje se přistříhovat ve stejném směru, ve kterém bylo provedeno předchozím stříhání. Různé metody přistříhování otvorů jsou uvedeny na obr. 16.

### Způsoby přistřihování otvorů:

- přistřihování vnějších otvorů s kladnou vůlí, viz obr. 16a).
- přistřihování vnějších otvorů se zápornou vůlí, viz obr. 16b).
- přistřihování vnitřních otvorů, viz obr. 16c).
- kombinace stříhání otvorů s přistřihováním, viz obr. 16d).

Schéma přistřihování vnějších obrysů výstřižku s kladnou vůlí je zobrazeno na obr. 16a). Ke středění výstřižku slouží deska se zakládací dutinou. Mezi střížnicí a zakládací deskou musí být mezera  $b$ , aby byl umožněn odvod třísek. Střížnice má rozměry budoucího výstřižku.

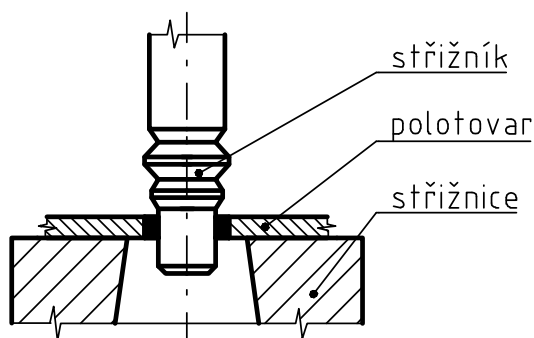
Schéma přistřihování vnějších obrysů výstřižku se zápornou vůlí je znázorněno na obr. 16b). Rozměr střížníků bývá o 0,1 až 0,5 mm větší jak rozměr střížnice. Při přistřihování se smí střížník pouze přiblížit ke střížnici a to na vzdálenost  $a = 0,2$  až 0,4 mm. Střížník nesmí, dosednou na střížnici jinak by mohlo dojít k poškození jak střížníku tak střížnice. Proto je přistřižení provedeno jen částečně a dokončí se až při přistřihování dalšího výstřižku, který protlačí předchozí výstřižek do střížnice. Je tedy nutno použít více operací.

Na obr. 16c) je uvedeno přistřihování děrovaných případně vrtaných otvorů a na obr. 16d) je ukázka technologie přistřihování otvorů ve spojení s děrováním při použití osazeného střížníku.

### **2.2.5 Kalibrování otvorů [3], [6]**

Kalibrováním se ve většině případů dokončují již před zhotovené otvory (např. předvrtané nebo předstřížné). Kalibrování je možné provádět na vnitřním otvoru, ale i vnějším obrysu.

Otvory se kalibrují pomocí kalibrovacího trnu (obr. 17). Kalibrovací trn má jednu nebo více ploch o šířce 1 až 3 mm, jejich náběh a výběh je zkosen pod úhlem  $5^\circ$ . Náběh a výběh napomáhají k plynulému průběhu kalibrování. Nejlepší kvality otvoru při kalibrování se dosáhne, je-li otvor umístěn v dostatečné vzdálenosti od okraje materiálu (plechu). Jelikož je kalibrovaná plocha vlivem předchozího zpracování zpevněná, je potřeba na kalibrování větší síla než při přistřihování. V porovnání s přistřihováním je kalibrování méně přesné a to vlivem odpružení materiálu po kalibraci.



Obr. 17 Kalibrování otvorů [3]

Princip kalibrování vnějších obrysů spočívá v protlačování výstřižku přes střížnici, která má zaoblené hrany  $R = 0,5$  až 1,5 mm dle tloušťky materiálu (plechu). Při kalibrování je nutno brát v úvahu i odpružení materiálu.

## **2.3 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ S NÁTLAČNOU HRANOU [1], [2]**

Metodu přesného stříhání plechových součástí s nátláčnou hranou začal používat v 1923 Fritz Schiess ve Švýcarsku. Do roku 1958 se přesným stříháním zabývala na pokusných zařízeních celá řada odborníků jako Guidi, Haack nebo Schmid. V následujících letech docházelo k vývoji speciálních trojčinných lisů určených pro technologii přesného stříhání. Tato technologie se značně rozšířila a v současnosti je jednou z nejpoužívanějších metod stříhání. Je vhodná spíše pro velkosériovou až hromadnou výrobu z důvodů drahých nástrojů.

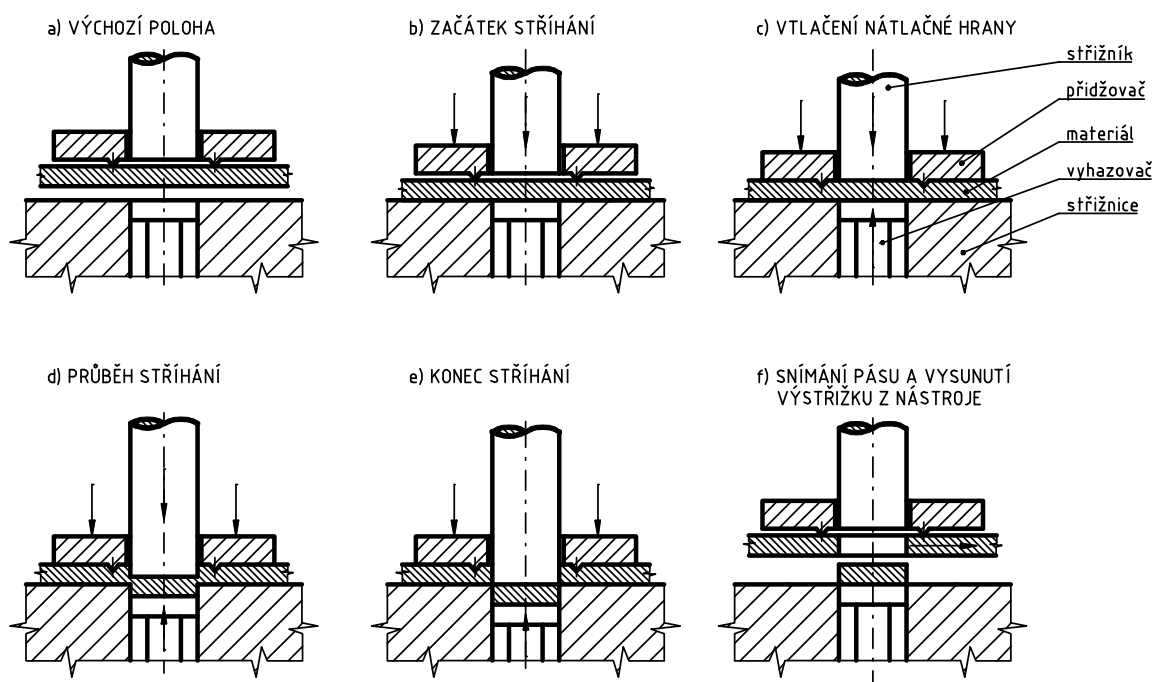
Přesné stříhání je velmi složitý proces, jehož průběh závisí především na vyvození třísového stavu napjatosti v místě stříhu. Pro přesné stříhání se používá sloučených stříhadel, to

znamená, že se převážně vystřihují součásti s uzavřenou křivkou stříhu. Těmito stříhadly je umožněn stříh vnějších i vnitřních tvarů současně. Při přesném stříhání se spolupůsobením stříhadla a lisu zabrání v oblasti stříhu vzniku trhlin. K vzniku trhlin dochází u konvenčního stříhání vlivem plastické deformace tvářeného materiálu. Ne vždy lze zabránit tvoření trhlin, záleží na materiálu. Pro přesné stříhání jsou nejvhodnější materiály s dostatečnou tvárností.

### 2.3.1 Princip a postup přesného stříhání s nátlacnou hranou [1], [2], [3]

Stříhaný materiál (pás plechu) procházející nástrojem je v počáteční fázi sevřen mezi střížnicí a přidržovačem. Tím dochází ke vtlačení tlačné hrany do materiálu ještě před samotným stříhem. Poloha tlačné hrany je volena mimo křivku stříhu. Uvnitř křivky je materiál sevřen mezi vyhazovačem a střížníkem, což zaručuje, že se materiál během stříhání neprohne. Protože tlačná hrana zachytí radiální složku pružení, která vzniká jako následek plastické deformace. K sevření materiálu je zapotřebí velkých sil. Střížná mezera je prakticky nulová.

Na obr. 18 je znázorněn postup přesného stříhání s nátlacnou hranou. V počáteční fázi dochází ke vložení materiálu mezi střížník a přidržovač. Poté následuje přitlačení materiálu (páso plechu) pomocí přidržovače s nátlacnou hranou ke střížnici. Nátlacná hrana je vtlačena do materiálu. Poté se dává do pohybu střížník, který začne působit na stříhaný materiál. Dochází k jeho vnikání do stříhaného materiálu a následnému vystřihnutí výstřížku. V další fázi se pohybuje střížník a přidržovač směrem na horu, aby bylo možno pomocí vyhazovače vyjmout výstřížek ze střížnice.



Obr. 18 Postup přesného stříhání [2]

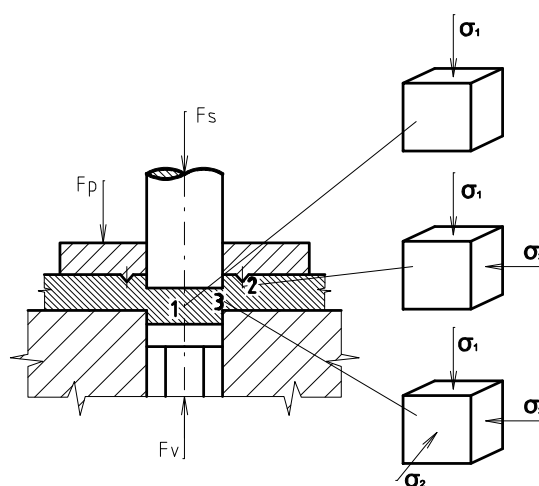
Tato technologie stříhání má také určité nevýhody. Například je potřeba volit větší šířku plechu a větší můstky než při klasickém stříhání. To má za následek větší odpadovost, a tím prodražení výroby. Další nevýhodou jsou omezení z hlediska tvaru stříhané součásti a jejího poměru mezi tloušťkou plechu a rozměrem součástky. Nelze vystřihovat například ostré rohy.



### 2.3.2 Rozbor stavu napjatosti při stříhání s nátlacnou hranou [1], [5]

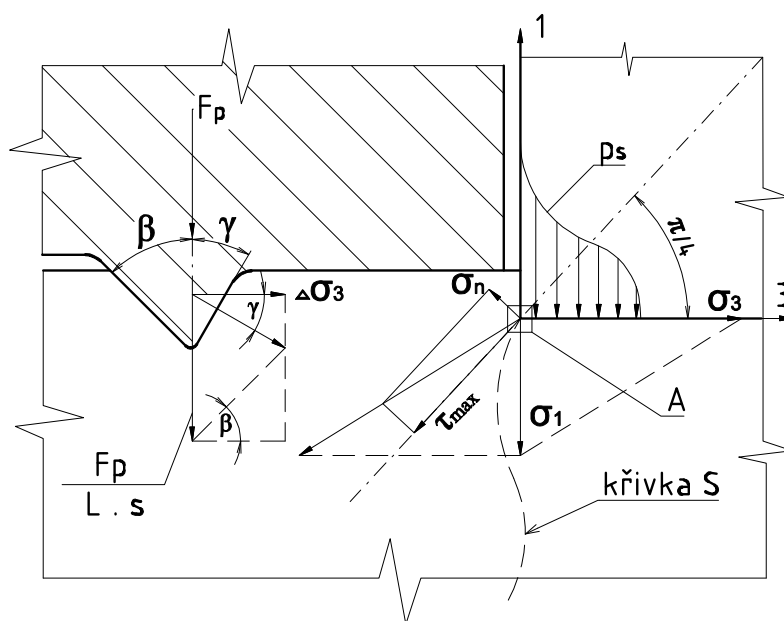
Při přesném stříhání se pásmo plastického stříhu šíří po celé tloušťce materiálu. Plastické vlastnosti kovů jsou závislé na stavu napjatosti, proto je nutné věnovat pozornost a zkoumat hlavní napětí v různých částech tvářeného materiálu. Se vzrůstajícím podílem tlakových napětí roste schopnost materiálu se plasticky deformovat a naopak větší tahová napětí způsobují porušení materiálu – vznik trhlin.

V materiálu při přesném stříhání vznikají tři oblasti s různými schématy napjatosti, viz obr. 19. V oblasti (3) je nejvýhodnější rozložení hlavních napětí, vzniká zde tříosá tlaková napjatost. Tato oblast všestranného tlaku zabraňuje vzniku trhlin a podporuje průběh čistě plastického stříhu.



Obr. 19 Schéma napjatosti při přesném stříhání [1]

Při použití přidržovače s nátlacnou hranou dojde k vytvoření přídavného tlakového napětí  $\Delta\sigma_3$ . Tlakové napětí výrazně změní poměry v rovinné napjatosti uzavřeného stříhu. Důsledkem působení toho napětí je dosažení záporné hodnoty složky normálního napětí  $-\sigma_n$ , která se snaží uzavírat vznikající trhliny ve směru  $\tau_{max}$ . Grafické znázornění tlakové napjatosti pod střížnou hranou je na obr. 20.



Obr. 20 Stav napjatosti [5]

Z geometrie nátlacné hrany lze stanovit průměr funkční plochy přidržovače dle [5]:

$$S_p = L_h \cdot h \cdot (\tan \gamma + \tan \beta) \quad (2.10)$$

Síla přidržovače na plastické zatlačení hrany plyne ze vztahu dle [5]:

$$F_p = S_p \cdot R_e = L_h \cdot h \cdot (\tan \gamma + \tan \beta) \cdot R_e \quad (2.11)$$

Přídavná složka tlakového napětí bude dle [5]:

$$\Delta\sigma_3 = \frac{F_p}{L_h \cdot s} \cdot \frac{1}{(\tan \gamma + \tan \beta)} \quad (2.12)$$

a celkové hlavní tlakové napětí bude dle [5]:

$$\sigma_{3C} = \Delta\sigma_3 + \sigma_3 \quad (2.13)$$

kde	$F_p$ .....síla přidržovače	[N]
	$S_p$ .....plocha přidržovače	[mm <sup>2</sup> ]
	$L_h$ .....délka nátláčné hrany	[mm]
	$h$ .....výška tlačné hrany	[mm]
	$R_e$ .....mez pružnosti	[MPa]
	$s$ .....tloušťka materiálu	[mm]
	$\Delta\sigma_3$ .....přídavné tlakové napětí	[MPa]
	$\sigma_{3C}$ .....celkové hlavní tlakové napětí	[MPa]
	$\beta$ .....vnější úhel přitlačné hrany	[°]
	$\gamma$ .....vnitřní úhel přitlačné hrany	[°]
	$\sigma_3$ .....tlakové napětí	[MPa]

Použitím přidržovače s nátláčnou hranou dojde ke zvýšení příčného tlakového napětí  $\sigma_3$  a následná změna schématu napjatosti vede ke vzniku tlakového normálového napětí  $-\sigma_n$ . Normálové napětí brání rozevírání trhlin. Tímto tzv. zadržením lomu dochází ke zvýšení kritického přetvoření. Plastický stříh se rozšíří na celou tloušťku stříhaného materiálu a dojde ke snížení střížné síly. Důsledkem je lepší kvalita střížné plochy a přesnost stříhu IT6 až IT11. Při stříhání plechu do tloušťky 4 mm se používá nátláčná hrana na přidržovači, přičemž při tloušťkách 3 až 7 mm je lepší použít nátláčnou hranu také na střížnici.

### 2.3.3 Působící síly [2], [3]

Průběhu přesného stříhání s nátláčnou hranou se účastní složky třech sil. První složkou je střížná síla působící k oddělování materiálu. Druhá síla působí na zatlačení nátláčné hrany do tvářeného materiálu a třetí složkou je síla na vyhazovači. Tato síla svírá materiál mezi střížníkem a vyhazovačem. Součet všech těchto sil udává celkovou sílu  $F_C$ .

Celková síla dle [2]:

$$F_C = F_s + F_p + F_v \quad (2.14)$$

kde	$F_c$ .....celková síla	[N]
	$F_s$ .....střížná síla	[N]
	$F_p$ .....síla přidržovače	[N]
	$F_v$ .....síla vyhazovače	[N]

Střížná síla dle [2]:

$$F_s = S \cdot n \cdot \tau_s = L \cdot s \cdot n \cdot \tau_s \quad (2.15)$$

kde	$F_s$ .....střížná síla	[N]
	$S$ .....plocha stříhu	[mm <sup>2</sup> ]
	$n$ .....koeficient vlivu vnějších podmínek ( $n = 1,2$ )	[-]
	$\tau_s$ .....pevnost ve stříhu, viz. rovnice (2.2)	[MPa]
	$L$ .....délka křivky stříhu	[mm]

s.....tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Síla přidržovače dle [3]:

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h \quad (2.16)$$

kde  $F_p$ .....síla přidržovače [N]  
 $L_h$ .....délka tlačné hrany [mm]  
 $h$ .....výška tlačné hrany [mm]  
 $R_m$ .....mez pevnosti v tahu [MPa]

Síla vyhazovače dle [2], [3]:

$$F_v = S' \cdot p = 0,2 \cdot F_s \quad (2.17)$$

kde  $F_v$ .....síla vyhazovače [N]  
 $S'$ .....plocha stříhané součásti [mm<sup>2</sup>]  
 $p$ .....měrný tlak [MPa]  
 $F_s$ .....střížná síla [N]

Měrný tlak bývá většinou v rozmezí 30 až 70 MPa a v případě spojení technologických operací stříhání a ohýbání 100 až 150 MPa.

### 2.3.4 Celková vynaložená práce [2]

Celková vynaložená práce při přesném stříhání se podobně jako síla skládá ze třech složek. První složkou je střížná práce, další práce přidržovače a poslední složkou je práce vyhazovače. Součtem těchto složek získáme celkovou práci  $A_c$ .

Celková práce dle [2]:

$$A_c = A_s + A_p + A_v \quad (2.18)$$

kde  $A_c$ .....celková práce [J]  
 $A_s$ .....střížná práce [J]  
 $A_p$ .....práce přidržovače [J]  
 $A_v$ .....práce vyhazovače [J]

Střížná práce dle [2]:

$$A_s = \frac{0,48 \cdot L \cdot R_m \cdot s^2}{1000} \quad (2.19)$$

kde  $A_s$ .....střížná práce [J]  
 $L$ .....délka křivky stříhu [mm]  
 $R_m$ .....mez pevnosti [MPa]  
 $s$ .....tloušťka materiálu [mm]

Práce přidržovače dle [2]:

$$A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h^2}{1000} \quad (2.20)$$

kde  $A_p$ .....práce přidržovače [J]  
 $R_m$ .....mez pevnosti [MPa]  
 $L_h$ .....délka tlačné hrany [mm]  
 $h$ .....výška tlačné hrany [mm]

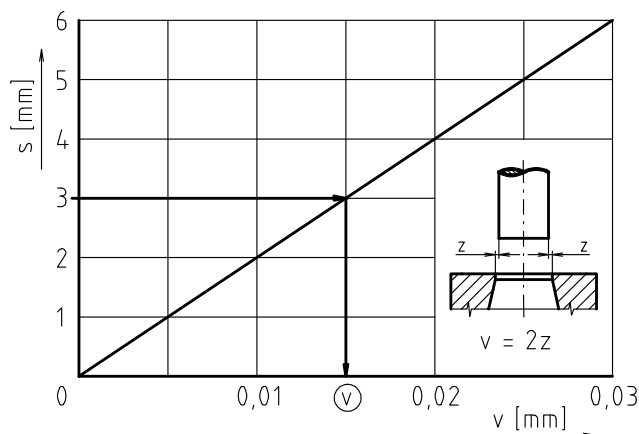
Práce vyhazovače dle [2]:

$$A_v = \frac{S' \cdot p \cdot s}{1000} \quad (2.21)$$

kde  $A_v$ .....práce vyhazovače [J]  
 $S'$ .....plocha stříhané součásti [mm<sup>2</sup>]  
 $p$ .....měrný tlak [MPa]  
 $s$ .....tloušťka materiálu [mm]

### 2.3.5 Střížná vůle [1], [3]

Střížná vůle má velký vliv na kvalitu střížné plochy, což se výrazně projevuje právě při přesném stříhání. Je až desetkrát menší jak u běžného stříhání. Střížnou vůli lze určit pomocí diagramu (obr. 21) nebo výpočtem. Pro výpočet střížné vůle existuje mnoho výpočtových vztahů, které ovšem vykazují značné rozdíly. Literatura [3] uvádí pro výpočet střížné vůle tyto vztahy (2.22) a (2.23):



Obr. 21 Velikost střížné vůle při přesném stříhání [3]

Výpočet pro plechy  $s \leq 3$  mm dle [3]:

$$v = c_s \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad (2.22)$$

Výpočet pro plechy  $s > 3$  mm dle [3]:

$$v = (1,5 \cdot c_s \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}} \quad (2.23)$$

kde  $v$ .....střížná vůle [mm]  
 $c$ .....součinitel [-]  
 $s$ .....tloušťka materiálu (plechu) [mm]  
 $\tau_{ps}$ .....pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

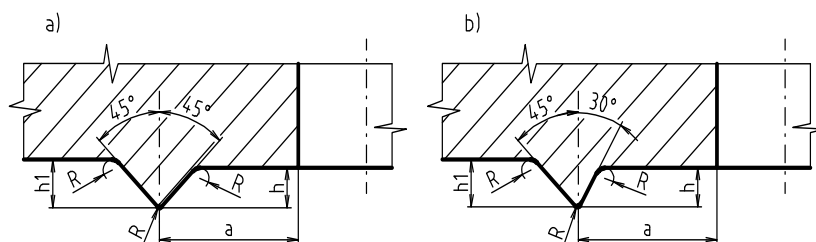
Součinitel (c) je závislý na druhu stříhání, pro přesné stříhání se volí  $c_s = 7 \cdot 10^{-4}$ .

### 2.3.6 Tvar, poloha a rozměry nátláčné hrany [1], [2], [3], [13]

Nátlačná hrana - její tvar, poloha a rozměry ovlivňují kvalitu střížné plochy a také životnost nástroje. Příliš velká vzdálenost od křivky stříhu snižuje účinek nátláčné hrany a zvyšuje spotřebu materiálu. Naopak malá vzdálenost omezuje vliv tlačné hrany a zhoršuje kvalitu střížné plochy. Nátlačné hrany se používají jak na přidržovači, tak na střížnici. Volba nátláčných hran závisí na tloušťce stříhaného plechu. Při stříhání plechu do tloušťky  $s = 4$  mm se používá nátláčná hrana pouze na přidržovači. U větších tloušťek plechu  $s > 4$  mm se musí používat nátláčné hrany na přidržovači a na střížnici.

Na obr. 22 jsou znázorněny dva typy průřezů nátláčné hrany, v praxi se nejčastěji používá typ b). Velikost vtlačení hrany do stříhaného materiálu odpovídá výšce (h) nátláčné hrany. Hloubka vtlačení je rozdílná pro jednotlivé materiály. Pro málo tvárné materiály se volí

hloubka vniknutí do jedné šestiny tloušťky stříhaného materiálu. U tvárnějších materiálů to může být až jedna třetina.



Obr. 22 Tvar a rozměry tlačné hrany [3]

Rozměry nátláčné hrany lze vypočítat podle příslušných výpočtových vztahů nebo je lze určit z tab. 2.3.

Výpočet výšky nátláčné hrany dle [3]:

- pro málo tvárné materiály

$$h = \frac{1}{6} \cdot s \quad (2.24)$$

- pro tvárné materiály

$$h = \frac{1}{3} \cdot s \quad (2.25)$$

kde  $h$ .....výška nátláčné hrany [mm]  
 $s$ .....tloušťka stříhaného materiálu [mm]

Výpočet výšky za nátláčnou hranou dle [3]:

$$h_1 = h + 0,05 \quad (2.26)$$

kde  $h_1$ .....výška odlehčení za nátláčnou hranou [mm]  
 $h$ .....výška nátláčné hrany [mm]

Výpočet vzdálenosti nátláčné hrany od křivky stříhu dle [3]:

$$a = (0,6 \text{ až } 1,2) \cdot h \quad (2.27)$$

kde  $a$ .....vzdálenost nátláčné hrany od křivky stříhu [mm]  
 $h$ .....výška nátláčné hrany [mm]

Tab. 2.3 Tabulka hodnot pro tlačnou hranu [9]

Tloušťka mat. [mm]	a	h	h <sub>1</sub>	R	Tloušťka mat. [mm]	a	h	h <sub>1</sub>	R
0,5	0,5	0,2	0,25	0,04	4,5	3,2	0,5	0,55	0,1
0,8	0,6	0,25	0,3	0,05	5,0	3,7	0,55	0,6	0,11
1,0	0,7	0,3	0,35	0,06	5,5	4,0	0,6	0,65	0,12
1,2	0,8	0,3	0,35	0,06	6,0	4,2	0,6	0,65	0,12
1,5	1,0	0,35	0,4	0,07	6,5	4,4	0,65	0,7	0,13
1,8	1,2	0,4	0,45	0,08	7,0	4,6	0,65	0,7	0,13
2,0	1,4	0,4	0,45	0,08	7,5	4,8	0,7	0,75	0,14
2,2	1,5	0,4	0,45	0,08	8,0	5,0	0,7	0,75	0,14
2,5	1,75	0,4	0,45	0,08	8,5	5,25	0,7	0,75	0,14
3,0	2,1	0,45	0,5	0,09	9,0	5,5	0,8	0,85	0,16
3,5	2,5	0,45	0,5	0,09	9,5	5,75	0,8	0,85	0,16
4,0	2,8	0,5	0,55	0,1	10,0	6,0	0,85	0,9	0,17

V další tab. 2.4 a tab. 2.5 jsou vyobrazeny i s rozměry dva typy nátlacných hran od firmy Feintool.

Tab. 2.4 Rozměry nátlacné hrany na přidržovači podle firmy Feintool [13]

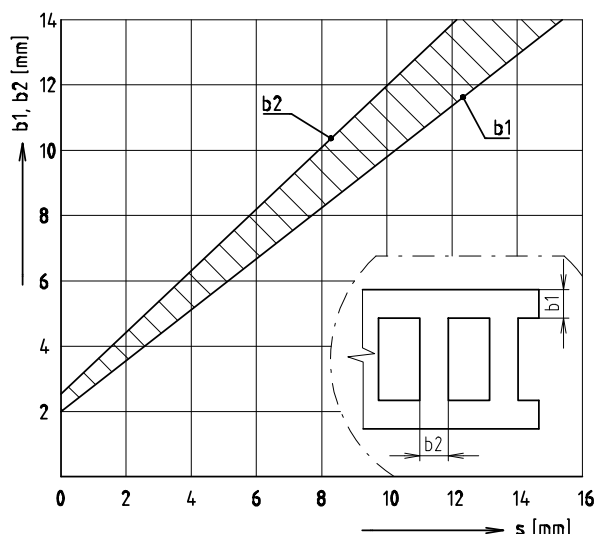
	Tloušťka mat. [mm]	a [mm]	H [mm]	R [mm]
	1,0÷1,7	1,0	0,3	0,2
	1,6÷2,2	1,4	0,4	0,2
	2,3÷2,7	1,7	0,5	0,2
	2,8÷3,2	2,1	0,6	0,2
	3,3÷3,7	2,5	0,7	0,2
	3,8÷4,5	2,8	0,8	0,2

Tab. 2.5 Rozměry nátlacné hrany na přidržovači i střížnici podle firmy Feintool [13]

	Tloušťka mat. [mm]	a [mm]	H [mm]	R [mm]	h [mm]	r [mm]
	4,5÷5,5	2,5	0,8	0,8	0,5	0,2
	5,6÷7,0	3,0	1,0	1,0	0,7	0,2
	7,1÷9,0	3,5	1,2	1,2	0,8	0,2
	9,1÷11	4,5	1,5	1,5	1,0	0,5
	11,1÷13	5,5	1,8	2,0	1,2	0,5
	13,1÷15	7,0	2,2	3,0	1,6	0,5

### 2.3.7 Velikost postranního odpadu a šířky můstku [1], [9]

Při přesném stříhání s nátlacnou hranou musí být velikost postranního odpadu ( $b_1$ ) a můstku ( $b_2$ ) větší než při běžném stříhání. Důvodem je nutný prostor potřebný pro zatlačení nátlacné hrany do stříhaného plechu, čímž je způsoben větší odpad. Při stříhání tvrdých materiálů je obtížné vyvodit trojosý stav napjatosti, je tedy zapotřebí větších šířek postranních odpadů a můstku než u měkkých materiálů. Podmínkou je také tuhost okraje plechu. Velikost postranního odpadu a můstku je přímo závislá na kvalitě střížných ploch. Obecně platí, že šířka pásu nebo pruhu plechu je rovna šířce součásti zvětšené o 3 až 4 tloušťky plechu. Velikost postranního odpadu a můstku lze určit několika způsoby. Na obr. 23 jsou určeny minimální hodnoty postranního odpadu a můstku pro materiál o pevnosti 400 MPa. V tab. 2.6 jsou uvedeny hodnoty podle firmy Hydrel.



Obr. 23 Minimální velikost postranního odpadu a můstku [1]

Tab. 2.6 Velikost můstků a postranních odpadů podle firmy Hydrel [9]

Tloušťka mat. [mm]	$b_2$ [mm]	$b_1$ [mm]	Tloušťka mat. [mm]	$b_2$ [mm]	$b_1$ [mm]
0,5	2,0	1,5	4,0	6,5	6,0
1,0	3,0	2,0	5,0	7,0	7,0
1,5	4,0	2,5	6,0	8,0	7,5
2,0	4,5	3,0	8,0	10	9,0
2,5	5,0	4,0	10	12	10
3,0	5,5	4,5	12,5	15	11
3,5	6,0	5,0	15	18	14

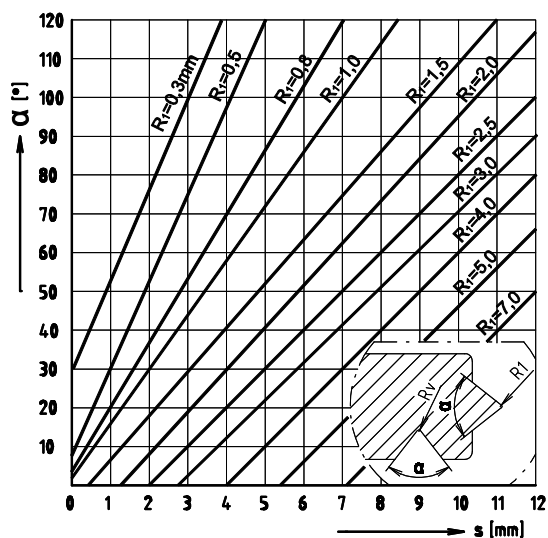
### 2.3.8 Technologičnost tvaru součásti [1], [3], [12]

Při konstrukci součásti se řídíme nejen jejich funkcí, estetikou, ergonomikou a ekologií, ale především způsobem a ekonomikou výroby. Cílem konstruktérů by mělo být dosažení maximální přitažlivosti součásti s požadovanými vlastnostmi a co nejnižšími materiálovými a výrobními náklady. Proto v drtivé většině případů bývá optimální konstrukce kompromisem mezi technickými požadavky, technologickými možnostmi a ekonomičností výroby.

Součásti pro přesné stříhání s nátlacnou hranou musí vyhovovat nejen požadavkům, které jsou dány provozními podmínkami a použitím, ale také technologičností konstrukce. Technologičnost konstrukce součásti, tj. výroba součásti při minimálních nákladech, lze zajistit respektováním tvaru součásti podle následujících doporučení a poznatků.

### Poloměry rohů a hran vystřihovaných součástí

Při návrhu konstrukce součástí je nutné volit optimální velikosti poloměrů rohů a hran, především u vyčnívajících částí. Ostré rohy a hrany mají negativní vliv na životnost a především kvalitu střížných ploch. Na střížné ploše v místech ostrých rohů vznikají trhlinky. Pro určování optimálních hodnot velikostí poloměrů rohů a hran je potřeba znát tloušťku stříhaného plechu, vrcholový úhel a pevnost materiálu. Pro orientační zjištění vhodné velikosti poloměrů rohů a hran u přesného stříhání s nátlacnou hranou slouží diagram na obr. 24. Tento diagram je vytvořen pro materiály s pevností 400 MPa, při vyšší pevnosti materiálu se poloměry zvyšují. Z diagramu se odečítají pouze vnější poloměry a vnitřní poloměr je zhruba 60 % hodnoty poloměru vnějšího. Z diagramu je patrné, že poloměry rohů a hran jsou tím větší, čím je menší vrcholový úhel a pevnost materiálu a tloušťka větší.



Obr. 24 Optimální velikost poloměrů rohů a hran vystřihovaných součástí [1]

### Minimální průměr otvoru a minimální šířka drážky

Pomalu probíhající střížný proces, vyhození odpadu při každém zdvihu a tuhá konstrukce nástrojů pro přesné stříhání s nátlacnou hranou umožňují vystřihování drážek a otvorů menších, než je tloušťka stříhaného materiálu. Především nízká životnost funkčních částí střížného nástroje má negativní vliv na minimální rozměry otvorů a drážek. Velikost minimálního průměru otvoru a minimální šířky drážky lze orientačně určit podle tabulky tab. 2.7. Hodnoty uvedené v tabulce jsou určeny pro materiál o pevnosti 400 MPa. U materiálů s vyšší pevností, kde střížné tlaky vzrůstají, je nutno minimální průměr otvoru a šířky drážky zvětšit.

Tab. 2.7 Minimální průměr otvoru  $d$  a minimální šířka drážky  $b$  [1]

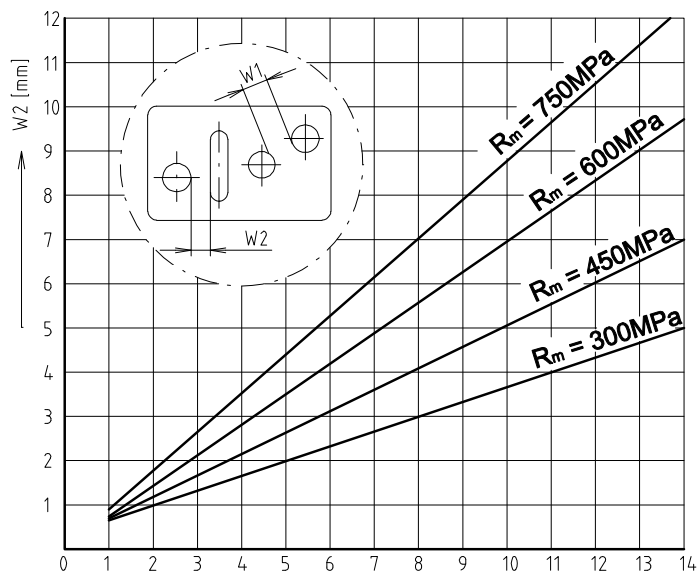
Tloušťka plechu $s$ [mm]	Minimální průměr otvoru $d$ [mm]	Minimální šířka drážky $b$ [mm]
do 3 mm	$60\% \cdot s$	$65\% \cdot s$
nad 3 mm	$70\% \cdot s$	$80\% \cdot s$

### Vzdálenost mezi otvory a drážkami

Přesným stříháním s nátlacnou hranou lze stříhat členité součásti s mnoha otvory a drážkami. Je tedy nutné zvolit správnou vzdálenost mezi jednotlivými otvory a drážkami. Kvalita střížné plochy a životnosti střížného nástroje jsou závislé na jednotlivých vzdálenostech otvorů a drážek. Příliš malé vzdálenosti zhoršují kvalitu střížné plochy a životnost nástroje.



Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami lze přibližně určit z diagramu na obr. 25. Vzdálenost závisí na tloušťce stříhaného materiálu a jeho pevnosti. Z diagramu je patrné, že se vzrůstající pevností stříhaného materiálu a s jeho vzrůstající tloušťkou je nutné zvětšit vzdálenost mezi otvory. Při nedodržení minimální vzdálenosti vznikají negativní účinky, zejména snížení trvanlivosti funkčních částí nástroje. Určují se dvě vzdálenosti  $W_1$  a  $W_2$ . Vzdálenost  $W_1$  je nejvýhodnější a je to vzdálenost mezi otvory, určuje se podle rovnice (2.28).  $W_2$  je nepříznivější vzdálenost, protože lokální napětí přechází přímo do okolního materiálu.



Obr. 25 Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami [1]

$$W_1 \geq 0,85 \cdot W_2 \quad (2.28)$$

kde  $W_1$ .....minimální vzdálenost mezi otvory [mm]  
 $W_2$ .....minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou [mm]

### Stříhání ozubení

Nejčastěji se přesné stříhání s nátlacnou hranou používá pro výrobu ozubených kol, segmentů a ozubených hřebenů pro součásti kancelářských strojů, časoměrných přístrojů a optico-mechanických přístrojů. Tvar ozubení závisí na mnoha činitelích, především na pevnosti a tloušťce materiálu. Jestliže je šířka zubu ( $b_z$ ) měřená na roztečné kružnici menší než tloušťka stříhaného materiálu, jsou zuby velmi namáhány. Aby bylo možno ozubení vyrábět přesným stříháním, musí být minimální šířka zubu ( $b_z$ ) na roztečné kružnici 60 % tloušťky stříhaného materiálu. Minimální hodnoty pro modul ( $m$ ) v závislosti na tloušťce materiálu a pevnosti jsou v diagramu v příloze 3.

### 2.3.9 Jakost povrchu přesně stříhaných ploch [1], [2], [13], [14], [15]

Jakost povrchu a přesnost součástí vyrobených přesným stříháním závisí na řadě činitelů, jako je např. tvar křivky stříhu, tvar a přesnost zhotovení střížníku a střížnice, druh a stav nástroje, vlastnosti stříhaného materiálu a ustavení polotovaru v nástroji. Odchytky od teoretické jakosti střížné plochy se dají rozdělit na tvarové a povrchové vady. Tvarové vady jsou větší odchytky v oblasti povrchu (vlny, jamky, hrbolky) a povrchové vady jsou odchytky od hladkého povrchu. Měřením ve směru stříhu a obvodu se nejlépe určuje jakost střížných ploch. Obr. 26 znázorňuje rozdíl v kvalitě střížné plochy při běžném (konvenčním) stříhání a při přesném stříhání s nátlacnou hranou.



Obr. 26 Kvalita střížné plochy [15]

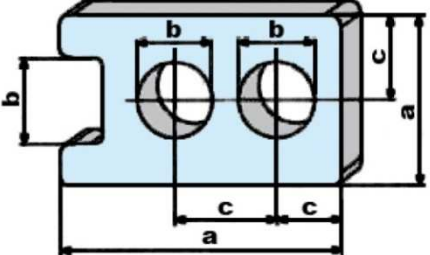
Střížné plochy přesně stříhaných součástí jsou většinou

kolmé k rovině stříhaného materiálu. Odchyšky od normálu střížné plochy bývají zpravidla větší na vnějším než na vnitřním tvaru stříhu. Při dobrých střížných podmínkách je sklon střížné plochy přesně stříhané součásti z oceli o tloušťce 10 mm na vnějším obvodu 0,02 mm, kolmost ploch je tedy 0,04 mm. Za stejných podmínek u tenčích materiálů (do tloušťky 4 mm) je rozdíl v kolmosti 0,01 mm od střížné plochy. Při stříhání plechů s tloušťkou nad 4 mm a při použití dvou tlačných hran je kolmost skoro stejná.

Při přesném stříhání s nátlacnou hranou lze dosáhnout drsnosti střížné plochy o hodnotě  $R_a = 0,4$  až  $1,6 \mu\text{m}$ . Na drsnost povrchu má značný vliv správná volba postranního odpadu, můstku nebo nevhodně zvolený protitlak. Tyto parametry výrazně zhoršují drsnost povrchu. Drsnost měřená v obvodovém směru je u tlustých plechů proměnlivá. V tab. 2.8 je uvedena rozměrová přesnost, která odpovídá stupni přesnosti IT7 až IT11.

Tab. 2.8 Dosahované rozměrové přesnosti [13]

Tloušťka materiálu [mm]	Přesnost ISO		
	Vnější tvar a	Vnitřní tvar b	Vzdálenost c
0,5 ÷ 1	IT7	IT7	IT7
1 ÷ 3	IT8	IT8	IT8
3 ÷ 5	IT9	IT9	IT8
5 ÷ 6,5	IT9	IT9	IT8
6,5 ÷ 8	IT9	IT9	IT9
8 ÷ 10	IT10	IT10	IT9



### 2.3.10 Materiály vhodné pro přesné vystřihování [1], [3], [4], [13], [33]

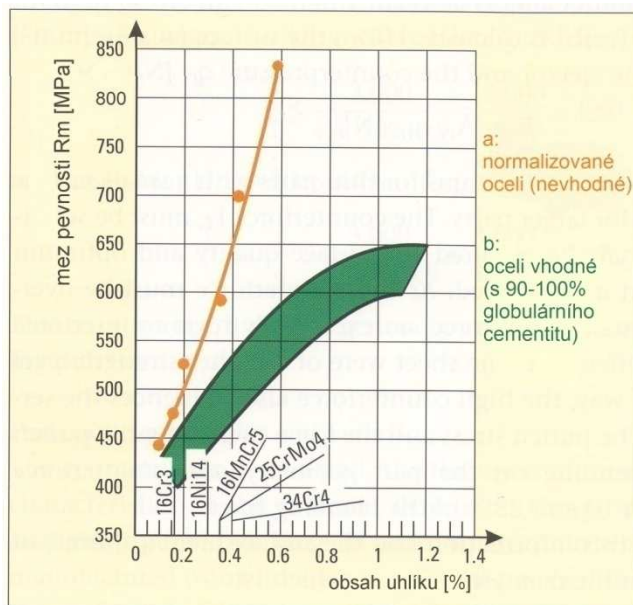
Na materiály určené pro přesné stříhání jsou kladeny podstatně větší nároky než na materiály pro konvenční stříhání. Tyto materiály musí mít dostatečnou tvárnost za studena a minimální mez kluzu. Pro vyráběnou součást se volí takový materiál, aby při nejnižší ceně a vyhovujících požadavcích na funkci součásti umožňoval optimální výrobní proces. Vhodně zvolený stříhaný materiál ovlivňuje kvalitu střížné plochy a životnost nástroje.

#### Oceli

Nejvíce zastoupenými materiály pro přesné stříhání a stříhání obecně jsou oceli. Pro dosažení kvalitní střížné plochy jsou nejvýhodnější nízkouhlíkové a nízkolegované oceli s pevností do 600 MPa a s malým obsahem nežádoucích příměsí jako jsou fosfor, síra, dusík a vměstky. Nevhodné oceli pro přesné stříhání jsou oceli s vysokým obsahem chromu, manganu a křemíku. V tab. 2.9 jsou uvedeny oceli, u kterých byla odzkoušena vhodnost použití pro přesné stříhání.

U nízkolegovaných ocelí je doporučeno přepočítat obsah legujících prvků na ekvivalentní obsah uhlíku, aby se zajistily nejpříznivější pevnostní oblasti, viz obr. 27. Z diagramu je zřejmé, že se zvyšováním pevnostních charakteristik se vhodnost oceli pro přesné stříhání zmenšuje a vzrůstá vliv mechanických vlastností na kvalitu střížné plochy. Hodnoty uvedené v diagramu na obr. 27 jsou pouze orientační.

Struktura materiálu má rozhodující význam pro přesné stříhání ocelí. Je ovlivněna obsahem uhlíku a přítomnými legujícími prvky i předchozím tepelným zpracováním. S rostoucím podílem tvrdých strukturních složek se zvyšuje opotřebení nástrojů a snižuje se možnost přesného stříhání. Například z oceli C45 (12 050) tepelně nezpracované, se strukturou feriticko-perlitickou s lamelárním perlitem, lze stříhat pouze tvary s dostatečně velkým zaoblením. Jinak může docházet k tvorbě mikroskopických trhlinek. Z oceli ve stavu žíhaném se strukturou politickou



Obr. 27 Oceli vhodné pro přesné stříhání [33]

s globulárním perlitem je možné stříhat složité tvary součástí i s malým zaoblením aniž by vznikaly mikroskopické trhlinky. Makrostruktura ocelí pro přesné stříhání nesmí vykazovat metalurgické vady (trhliny, shluky nekovových vměstků a ostatní vady), které jsou po naleptání na příčných řezech viditelné.

Tab. 2.9 Přehled vybraných materiálů dle ČSN pro přesné stříhání [3]

Označení materiálu	Vhodnost pro přesné stříhání
ČSN 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 11 423, 11 425; 12 010, 12 014, 12 020, 12 023, 12 024; ČSN 42 4214 (mosaz);	velmi dobrá
ČSN 11 500, 11 600, 11 700; 16 720;	dobrá
Ms 63, Ms 60;	špatná
Ms 58 (ČSN 42 3223);	nevhodná
Ms 63 Pb (ČSN 42 3214);	nehodí se
ČSN 12 040, 12 041, 12 050, 12 060, 12 061, 12 073, 12 081, 12 088; 13 180; 14 109, 14 120, 14 180, 14 220, 14 221, 14 260; 15 124, 15 130; 16 220, 16 221, 16 231, 16 420; 17 041, 17 240, 17 241, 17 246, 17 253; 19 103, 19 132, 19 140, 19 152, 19 191, 19 192, 19 221, 19 222, 19 252, 19 255, 19 312, 19 419, 19 452;	opotřebení nástroje

### Neželezné kovy

Až 90 % přesně stříhaných součástí je z oceli a zbylých 10 % tvoří součásti stříhané z neželezných kovů. Z toho 8 % zaujímá hliník a jeho slitiny, zbylé 2 % měď a její slitiny. Slitiny mědi obsahující méně než 56 % mědi nejsou vhodné pro přesné stříhání. Měkké bronzы zároveň s mosazí s obsahem mědi nad 63 % jsou vhodné pro přesné stříhání. Hliník a jeho slitiny jsou pro přesné stříhání vhodné až do pevnosti 300 MPa. V tab. 2.9 jsou modrou barvou znázorněny neželezné kovy a jejich vhodnost pro přesné stříhání.


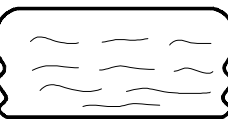
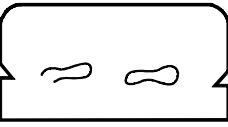
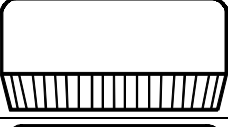


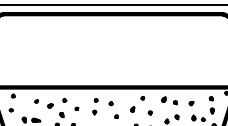

## Kvalita výchozího materiálu

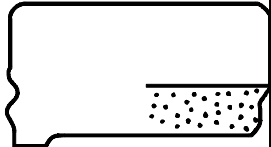

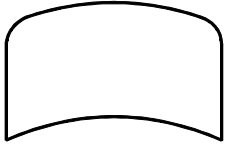
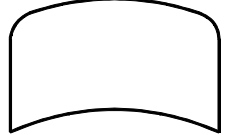
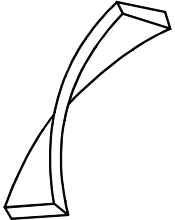
Pro přesné stříhání jsou nejvhodnější pruhy nebo pásy plechů válcované za studena. Povrch musí být hladký bez zaválcovaných okují, šupin a přeložek. Hloubka oduhličení nesmí překročit 2 % tloušťky stříhaného materiálu. Pro výrobu hodně namáhaných součástí je potřeba použít již povrchově upravený výchozí materiál bez vrchní oduhličené vrstvy. Nutnou podmínkou pro úspěšné využití přesného stříhání je stejnoměrnost výchozího materiálu co do chemického složení, přesnosti rozměrů, jakosti a struktury.

### 2.3.11 Vady výstřížků při přesném stříhání [1]

V tab. 2.10 jsou uvedeny závady, které mohou vznikat při přesném stříhání, příčiny vzniku a možnosti jejich odstranění.

Tab. 2.10 Závady při přesném stříhání [1]

Poř. číslo	Tvar výstřížku	Stav střížné plochy	Příčina	Odstranění
1		dobrý		
2		špatný	-nevhodný materiál -velká drsnost střížnice -nedostatečné mazání	-mat. vyžítat nebo změnit -přebrousit střížnici, pokud to střížná vůle dovolí -mazání provádět vhodným mazadlem
3		trhlina	-nízký tlak přidržovače -zaoblení střížnice malé -nízká tlačná hrana	-tlak přidržovače zvětšit -zvětšit zaoblení střížnice -tlačnou hranou umístit i na střížnici
4		odtržený okraj	-střížná vůle je velká	-vyrobit nový střížník
5		kuželovité střížné plochy	-zaoblení střížnice je velké	-střížnici přebrousit a méně zaoblit
6		střížná plocha zvlněná a kuželová	-střížná vůle je malá	-střížnou vůli zvětšit
7		střížná plocha zvlněná, odtržený okraj	-zaoblení střížnice je velké, střížná vůle je velká	-střížnici přebrousit, zmenšit zaoblení
8		velký otřep	-malá střížná vůle, střížník je opotřebovaný -střížná vůle je optimální, střížník je vyštípnutý	-střížnou vůli zvětšit, střížník přebrousit -horní stůl přestavit nahoru, střížník přebrousit a lapovat

9		na jedné straně odtržený okraj, na druhé straně střižná plocha zvlněná a po obvodu vypouklá	-rozdílná střižná vůle, vedení na vnějším průměru -vedení střižníku má velkou vůli	-excentricky přebrousit a střižník znovu vystředit  -opravit vůli ve vedení
10		velký poloměr	-zaoblení střižnice	-střižnici přebrousit a méně zaoblit
11		plocha vypouklá	-malý protitlak, kontrola oleje na pásu nebo pruhu	-zvýšit protitlak, vybrousit více drážek na přidržovači k odvodu oleje
12		výstřižek je podélně prohnut	-napětí v materiálu	-použít polotovar s odstraněným pnutím, předřadit rovnačku nebo součásti rovnat
13		výstřižek zkroucený	-napětí v material  -ploha výstřižku v pásu, pruhu -nepříznivý průběh vláken	-vyžít k odstranění pnutí -změna polohy výstřižku

### 2.3.12 Nástroje pro přesné stříhání [1], [2], [16]

Na nástroje pro přesné stříhání je kladeno mnoho požadavků, mezi ty nejdůležitější patří tuhost a přesnost nástroje. Proto je potřeba konstruovat nástroje s vodícími sloupky s valivým vedením. Dále je nutné zajistit přesné výškové ustavení nástroje (střižník nesmí procházet střižnicí) a rovnoběžnost stěn otvoru ve střižnici po celé tloušťce stříhaného materiálu, bez úkosu. Posledním důležitým požadavkem je možnost přenášet potřebný tlak přes přidržovač a vyhazovač.

Z konstrukčního hlediska se nástroje pro přesné stříhání dělí do dvou základních skupin:

- nástroje s pohyblivým střižníkem a pevným přidržovačem,
- nástroje s pevným střižníkem a pohyblivým přidržovačem.

Nástroje pro přesné stříhání mají své význačné zvláštnosti:

- mezi střižníkem a střižnicí je minimální střižná mezera pohybující se řádově v setinách až tisícinách milimetrů,
- nástroje pro přesné stříhání mají na přidržovači a případně i na střižnici nátlakovou hranu – přidržovač slouží k sevření stříhaného materiálu na vnější straně křivky stříhu,
- vyhazovače neslouží jenom k vyhazování součástí, ale přenášejí také opačně působící sílu od lisu na materiál sevřený mezi střižníkem a vyhazovačem,
- jednotlivé prvky nástrojů pro přesné stříhání jsou vystaveny velkému namáhání, proto je potřeba, aby byly robustně stavěny.

### **Nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem**

Nástroj tohoto typu je schematicky znázorněn v příloze 5. Střížnice a přidržovač s nátlacnou hranou jsou pevné, kdežto střížník je pohyblivý a při vystřihování je veden přidržovačem. Tyto nástroje jsou vhodné pro symetrické součásti do tloušťky 5 mm. Drtivá většina nástrojů pro přesné stříhání je konstruována podle tohoto způsobu. Typická konstrukce nástroje pro přesné stříhání součástí s vnitřním otvorem (viz příloha č. 5) se skládá z tuhého vodícího stojánu s valivým vedením. Funkční části nástroje (střížník, střížnice, vyhazovač a přidržovač) jsou uloženy ve vodícím stojánu. Pohyblivý střížník je upevněn k beranu lisu. Spodní část nástroje je poháněna hydraulicky a je v ní upevněn přidržovač. V horní pevné části je uložena střížnice. Pracovní pohyb vyhazovače je vyvozen hydraulicky.

### **Nástroj s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem**

V příloze č. 6 je znázorněno schéma nástroje pro přesné stříhání s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem. Nástroje s touto konstrukcí jsou vhodné pro velké a dlouhé součásti nesymetrických tvarů s mnoha otvory a zejména pro součástky s tloušťkou nad 5 mm. Přidržovač s nátlacnou hranou obepíná po obvodu střížník. Hydraulicky prostřednictvím tlačných kolíků je vyvozena síla potřebná pro zatlačení nátlacné hrany a pro sevření materiálu mezi přidržovačem a střížnicí. Střížná síla je vyvozena mechanickým nebo hydraulickým pohonem. Nástroje konstruované tímto způsobem jsou citlivé na příčné síly. A tyto síly způsobují vybočení střížníku ve směru stříhání. Mezi střížníkem a přidržovačem není zajištěna rovnoběžnost, což způsobuje lisovací síla. Není totiž rovnoměrně rozdělena na všechny tlačné kolíky. Tento typ střížného nástroje umožňuje konstrukci pevného střížníku v horní nebo dolní části nástroje.

### **Hlavní funkční části nástroje**

Při konstrukci funkčních částí střížných nástrojů pro přesné stříhání s nátlacnou hranou je nutné dbát na správné ustavení a výrobní přesnost jednotlivých dílů nástroje. Především se jedná o konstrukci střížníku, střížnice, vyhazovače a přidržovače.

#### **Střížník**

Střížník, je oproti konvenčnímu stříhání značně namáhám z důvodů, že má uvnitř otvory a vybrání pro vyhazovače, což komplikuje jeho konstrukci. Tvarově složité výstřižky se vložkují. Při začátku procesu stříhání by měl být střížník buď ve stejné úrovni s plochou přidržovače, nebo o 0,2 mm níže. V opačném případě může docházet ke snížení kvality střížné plochy. Čelní plocha střížníku se nesmí ponořit do otvoru střížnice při ukončení stříhání, neboť by mohlo dojít k jeho rychlému opotřebení. K výjimce může dojít při stříhání velmi tvrdých materiálů, zde může dojít k malému vniknutí střížníku do střížnice. Vniknutí nesmí být větší než je zaoblení hrany střížnice. Střížník musí být ve vyhazovači zalícován suvně a musí být zajištěn proti pootočení. Střížné hrany střížníku musí být dokonale vybroušené a střížnice musí mít poloměr zaoblení zhruba 0,05 až 0,1 mm.

Požadavky na střížník:

- musí mít dostatečnou délku na přestřžení,
- musí být kolmý a zalícovaný ve vyhazovači,
- musí být zalícovaný v kotevní desce a zajištěný proti pootočení,
- musí odmagnetizovaný a souosý.

Střížníky je nutno kontrolovat na otlačení:

$$\sigma = \frac{F_s}{S_{stř}} \leq \sigma_D \quad (2.29)$$

kde  $\sigma$ .....napětí v tlaku [MPa]  
 $\sigma_D$ .....dovolené napětí v tlaku [MPa]  
 $F_s$ .....střížná síla střížníku [N]  
 $S_{stř}$ .....plocha průřezu střížníku [mm<sup>2</sup>]

Dále je nutno kontrolovat střížníky na vzpěr, zde hraje velkou roli délka střížníku. Protože dlouhé a slabé střížníky se mohou prohýbat. Kritická síla, která způsobuje prohnutí střížníku je pro nástroje s vedením dána vztahem dle [16]:

$$F_{krit} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{krit}^2} = \mu \cdot F_{stř} \quad (2.30)$$

Pak je kritická délka střížníku:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot F_{stř}}} \quad (2.31)$$

kde  $F_{krit}$ .....kritická síla [N]  
 $I$ .....moment setrvačnosti průřezu [mm<sup>4</sup>]  
 $E$ .....modul pružnosti v tahu –  $E = 2,1 \cdot 10^5$  [MPa]  
 $l_{krit}$ .....kritická délka střížníku [mm]  
 $\mu$ .....koeficient bezpečnosti ( $\mu = 1,5$  až  $2$ ) [-]

### Střížnice

Podle vnějšího tvaru rozdělujeme střížnice na obdélníkové a kulaté, podle konstrukce mohou být střížnice z jednoho nebo více kusů (skládáné). Střížnice vyrobené z jednoho kusu mají nejvíce namáhané partie vsazeny jako vložku. Skládané střížnice jsou sestaveny z několika kusů v jeden celek. Tyto kusy drží pohromadě objímky. Spojení mezi objímkou a segmenty může být rozebíratelné a nerozebíratelné.

Požadavky na střížnici:

- musí být vyrobená bez přechodů a broušení,
- musí být ve vodícím stojánku zalícovaná se správným předpětím,
- musí být ve slabých místech podepřená zespodu tvarovými vložkami,
- musí být konstruována s odvzdušňovací drážkou,
- musí být konstruována s ochrannými ploškami proti poškození tlačné hrany,
- musí být konstruována s tlačnými hranami.

### Vyhazovač a přidržovač

Při konstrukci přidržovače je potřeba dbát na správnou geometrii nátláčných hran, na správné předpětí a na ochranné plošky, které slouží k zabránění poškození nátláčných hran. Ve zvláštních případech mohou být na čelní ploše přidržovače konstruovány drážky k odtoku oleje.

Vyhazovač musí být:

- lícovaný do střížnice suvně;
- zajištěný proti pootočení a vypadnutí;
- ustavený ve střížnici tak, aby nad ni přečníval o 0,1 až 0,2 mm.

### **Materiály používané pro stříhané nástroje**

Na nástrojové oceli určené k výrobě střížných nástrojů jsou kladeny vysoké požadavky na maximální odolnost proti opotřebení. Na materiálu funkčních částí nástroje a na tepelném zpracování je závislá hospodárnost a především ekonomická otázka výhodnosti přesného stříhání. V tabulce (příloha 14) je uvedeno několik materiálů vhodných ke konstrukci funkčních částí střížných nástrojů. Výběr materiálu pro funkční části nástrojů pro přesné stříhání je závislý na řadě činitelů, nejdůležitější jsou typ nástroje a způsob namáhání, zpracováváný materiál a počet kusů.

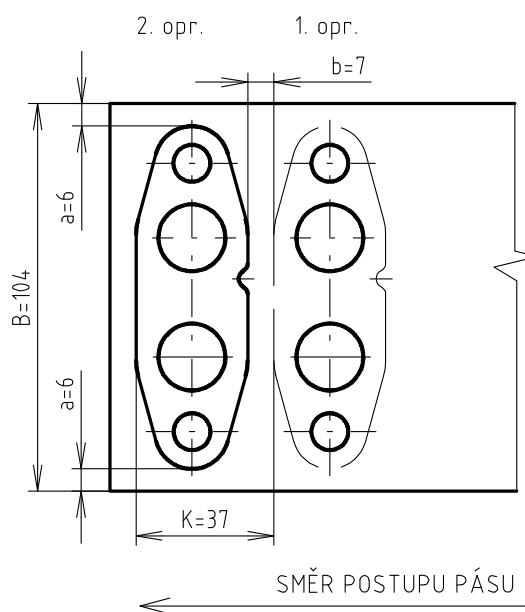


### 3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

Součást je vyráběna postupovým stříháním v roční dávce 800 000 ks. Stříhání je prováděno na postupovém stříhadle, do kterého je obsluhou vkládán pás plechu. Pásky plechu jsou nastříhány z tabule 5x1000x2000 mm tabulovými nůžkami na požadovanou šířku. Po vystřížení součásti následuje ještě třískové obrábění, pro dosažení potřebné jakosti stříhaných otvorů.

#### Rozbor stávající technologie

Stávající technologie je složena s většího počtu operací (dělení tabule na pruhy, postupové stříhání, vystružování a odstranění ostřin). Mezi operacemi je potřeba manipulace s materiálem. Součást je po vystřížení obráběna a pro odstranění ostřin je potřeba širší pracovní sílu. Všechny tyto faktory prodlužují a prodražují výrobu dané součásti. Z toho plyne, že technologie postupovým stříháním je vhodnější spíše pro menší výrobní série.



Obr. 28 Nástřihový plán

#### 3.1 NÁSTŘIHOVÝ PLÁN

Na obr. 28 je znázorněn nástřihový plán pro postupové stříhání. Vyráběná součást bude vyráběna ve dvou operacích. V první operaci dohází k vystřížení všech vnitřních otvorů v součásti a ve druhé operaci se vystřihuje obvod součásti.

Délka kroku:  $K = 37 \text{ mm}$

Šířka pásu:  $B_t = 104 \text{ mm}$

Délka pásu:  $L_t = 2000 \text{ mm}$

#### Počet pásů z tabule plechu ( $P_P$ )

$$P_P = \frac{\check{S}}{B_t} = \frac{1000}{104} = 9,6 \rightarrow 9 \text{ ks} \quad (3.1)$$

kde  $\check{S}$ .....šířka tabule plechu [mm]

#### Počet výstřížků z pásu ( $P_V$ )

$$P_V = \frac{L_t}{K} = \frac{2000}{37} = 54,05 \rightarrow 54 \text{ ks} \quad (3.2)$$

kde  $L_t$ .....délka tabule plechu [mm]

#### Počet výstřížků z tabule ( $n_t$ )

$$n_t = P_P \cdot P_V = 9 \cdot 54 = 486 \text{ ks} \quad (3.3)$$

#### Celková spotřeba tabulí plechu ( $n_{Ctab}$ )

$$n_{Ctab} = \frac{Q}{n_t} = \frac{800000}{486} = 1646,09 \rightarrow 1647 \text{ ks} \quad (3.4)$$

kde  $Q$ .....roční výrobní dávka [ks]

### **Ekonomické využití tabule**

$$S_t = L \cdot \check{S} = 2000 \cdot 1000 = 2000000 \text{ mm}^2 \rightarrow 2 \text{ m}^2 \quad (3.5)$$

$$k_t = \frac{(S_{\text{vys}} + S_{\text{odp}}) \cdot n_t}{S_t} \cdot 100 = \frac{(1640,574 + 666,016) \cdot 486}{2000000} \cdot 100 = 56 \% \quad (3.6)$$

kde  $k_t$ .....využití tabule plechu [%]  
 $S_t$ .....plocha tabule plechu [ $\text{mm}^2$ ]  
 $S_{\text{vys}}$ .....plocha výstřižku (kapitola 4.2.1) [ $\text{mm}^2$ ]  
 $S_{\text{odp}}$ .....plocha odpadu z výstřižku (kapitola 4.2.1) [ $\text{mm}^2$ ]

Celkové využití tabule plechu při postupovém stříhání je 56 %.

## 4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

### 4.1 KONTROLA VHODNOSTI SOUČÁSTI

Tato podkapitola je zaměřena na kontrolu součásti, zda lze zadanou součást stříhat přesným stříháním s nátlacnou hranou. Problematika kontroly technologičnosti tvaru součásti je blíže popsána v kapitole 2.3.8.

#### Kontrola poloměrů a hran součásti

Zadaná součást bude stříhána z plechu o tloušťce  $s = 5$  mm. Z diagramu na obr. 24 lze pro danou tloušťku stříhaného plechu odečíst minimální poloměr rohů. Při úhlu  $\alpha = 15^\circ$  a  $s = 5$  mm je minimální poloměr rohů  $R_1 = 4,5$  mm. Jelikož diagram z obr. 24 platí pouze pro součásti s mezí pevnosti  $R_m = 400$  MPa, musí se minimální poloměr rohů pro danou součást přepočítat. Protože součást je stříhána z materiálu s mezí pevnosti  $R_m = 630$  MPa. Poloměr  $R_1$  je tedy potřeba zvětšit o zhruba polovinu.

$$R_{\min} = 1,5 \cdot R_1 = 1,5 \cdot 4,5 = 6,75 \text{ mm} \quad (4.1)$$

$$r_{\min} = 0,6 \cdot R_{\min} = 0,6 \cdot 6,75 = 4,05 \text{ mm} \quad (4.2)$$

kde	$R_1$ .....minimální poloměr rohů	[mm]
	$R_{\min}$ ....minimální vnější poloměr rohů	[mm]
	$r_{\min}$ .....minimální vnitřní poloměr rohů	[mm]

Dle kontrolních výpočtů je potřeba, aby zadaná součást měla vnější rohy minimálně  $R_{\min} = 6,75$  mm a vnitřní  $r_{\min} = 4,05$  mm. Zadaná součást vyhovuje, protože má všechny rohy větší, než jsou uvedené minimální hodnoty.

#### Kontrola minimálního průměru otvoru

Velikost minimálního průměru otvoru lze zjistit z tab. 2.7. Pro materiál o tloušťce  $s = 5$  mm lze použít rovnici (4.3).

$$d_{\min 400} = 0,7 \cdot s = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm} \quad (4.3)$$

kde	$d_{\min 400}$ .....minimální průměr otvoru (pro $R_m = 400$ MPa)	[mm]
	$s$ .....tloušťka stříhaného materiálu	[mm]

Uvedený výpočet je pro materiály do meze pevnosti  $R_m = 400$  MPa. Pro stříhanou součást s mezí pevnosti  $R_m = 630$  MPa je potřeba minimální průměr otvorů přepočítat viz rovnice (4.4).

$$d_{\min 630} = 1,5 \cdot d_{\min 400} = 1,5 \cdot 3,5 = 5,25 \text{ mm} \quad (4.4)$$

kde	$d_{\min 630}$ .....minimální průměr otvoru (pro $R_m = 630$ MPa)	[mm]
-----	---	------

Všechny otvory na stříhané součásti mají větší průměry, než  $d_{\min 630} = 5,25$  mm.

#### Kontrola vzdálenosti mezi otvory a drážkami

Z diagramu na obr. 25 lze určit minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou, která je  $W_2 = 3,6$  mm, pro zadaný materiál o tloušťce  $s = 5$  mm. Ze vzdálenosti  $W_2$  se podle rovnice (2.28) vypočítá minimální vzdálenost mezi otvory.

$$W_1 = 0,85 \cdot W_2 = 0,85 \cdot 3,6 = 3,06 \text{ mm} \quad (4.5)$$

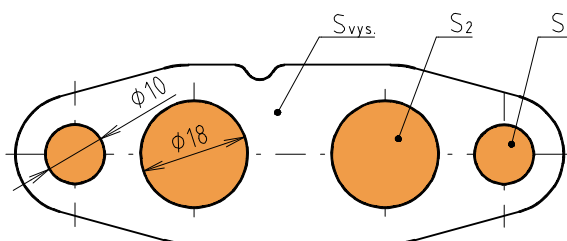
Minimální vzdálenosti otvorů od drážek a mezi otvory na zadané součásti vyhovují.

## 4.2 KONTROLNÍ A TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

Kontrolní výpočty jsou důležité pro určení funkčnosti střížníku a střížnice. Udávají hodnoty zatížení, které ukazují, zda funkční části (střížník a střížnice) nástroje vyhovují. Technologické výpočty slouží k zjištění parametrů střížného nástroje. Podle vypočtených hodnot se volí také potřebný lis.

### 4.2.1 Určení plochy součásti, délky křivky stříhu a délky nátláčné hrany

#### Určení plochy součásti



Obr. 29 Plocha výstřížku

Výpočet plochy výstřížku byl proveden pomocí programu Inventor, výsledná plocha výstřížku je  $S_{\text{vys}} = 1640,574 \text{ mm}^2$ .

#### Výpočet odpadu z výstřížku

Odpad na výstřížku představují plochy  $S_1$  a  $S_2$ . Na obr. 29 jsou vyobrazeny oranžovou barvou.

$$S_1 = \frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 78,539 \text{ mm}^2 \quad (4.6)$$

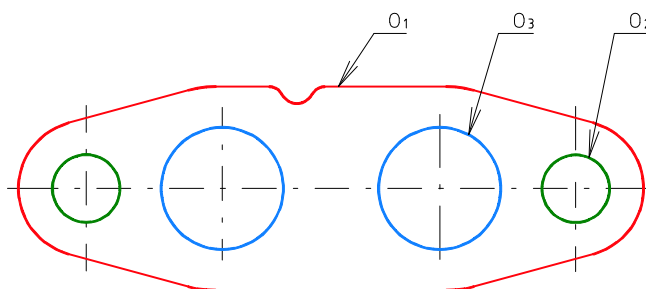
$$S_2 = \frac{\pi \cdot 18^2}{4} = 254,469 \text{ mm}^2 \quad (4.7)$$

$$S_{\text{odp.}} = 2 \cdot S_1 + 2 \cdot S_2 \quad (4.8)$$

$$S_{\text{odp.}} = 2 \cdot 78,539 + 2 \cdot 254,469 = 666,016 \text{ mm}^2$$

kde	$S_{\text{odp.}}$ .....celková plocha odpadu z výstřížku	$[\text{mm}^2]$
	$S_1$ .....plocha odpadu malého otvoru	$[\text{mm}^2]$
	$S_2$ .....plocha odpadu velkého otvoru	$[\text{mm}^2]$

#### Výpočet délky křivky stříhu



Obr. 30 Délka křivky

Celková délka křivky stříhu je určena velikostí třech obvodů  $o_1$ ,  $o_2$  a  $o_3$ , viz obr. 30. Jednotlivé velikosti obvodů křivek jsou vypočteny v programu Inventor.

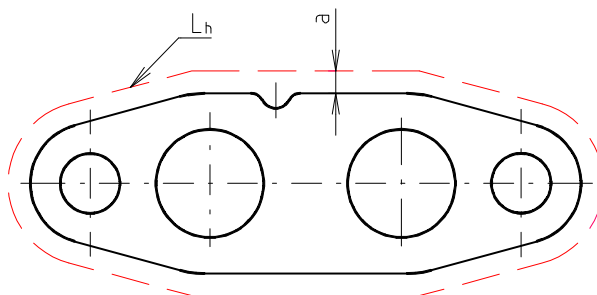
Celková délka křivky stříhu:

$$L = o_1 + 2 \cdot o_2 + 2 \cdot o_3 \quad (4.9)$$

$$L = 211,408 + 2 \cdot 31,416 + 2 \cdot 56,549 = 387,338 \text{ mm}$$

kde  $L$ .....celková délka křivky stříhu [mm]  
 $o_1, o_2, o_3$ ....jednotlivé obvody [mm]

Výpočet délky nátláčné hrany



Obr. 31 Křivka nátláčné hrany

Na obr. 31 je vyobrazena červenou přerušovanou čarou křivka nátláčné hrany. Nátláčná hrana bude vedena kolem vnějšího tvaru součásti ve vzdálenosti  $a = 2,5 \text{ mm}$ , viz tab. 2.5. Nátláčná hrana v tomto případě nebude zabíhat do zářezu na součásti. Velikost křivky nátláčné hrany je vypočtena v programu Inventor.

Velikost křivky nátláčné hrany

$$L_h = 215,25 \text{ mm}$$

kde  $L_h$ .....délka křivky nátláčné hrany [mm]

#### 4.2.2 Výpočet střížných sil a střížné práce

Výpočet střížných sil je popsán v kapitole 2.3.3 a střížných prací v kapitole 2.3.4. Při výpočtu se uvažuje se stříháním dvou součástí na jeden zdvih stroje, což znamená, že dílčí síly a práce budou dvojnásobné.

Střížná síla

Střížná síla se počítá dle vzorce (2.15):

$$F_{s1} = n \cdot L \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m$$

$$F_{s1} = 1,3 \cdot 387,338 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 630 = 1221,3 \text{ kN} \quad (4.10)$$

$$F_{sc} = 2 \cdot F_s = 2 \cdot 1221,3 = 2442,6 \text{ kN} \quad (4.11)$$

kde  $F_{s1}$ .....střížná síla pro vystřížení jednoho výstřížku [kN]  
 $F_{sc}$ .....střížná síla pro vystřížení dvou výstřížků najednou [kN]

Síla na přítlačné desce

Síla na přítlačné desce (přidržovači) se počítá dle vzorce (2.16):

$$F_{p1} = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h$$

$$F_{p1} = 4 \cdot 630 \cdot 215,25 \cdot 0,5 = 271,2 \text{ kN} \quad (4.12)$$

$$F_{pc} = 2 \cdot F_p = 2 \cdot 271,2 = 542,4 \text{ kN} \quad (4.13)$$

kde  $F_{p1}$ .....síla přidržovače pro vystřížení jednoho výstřížku [kN]  
 $F_{pc}$ .....síla přidržovače pro vystřížení dvou výstřížků [kN]

#### Síla na vyhazovači

Síla na vyhazovači se počítá dle vzorce (2.17):

$$F_{v1} = S' \cdot p = (S_{vys} + S_{odp}) \cdot p$$

$$F_{v1} = (1640,574 + 666,016) \cdot 50 = 115,3 \text{ kN} \quad (4.14)$$

$$F_{vc} = 2 \cdot F_v = 2 \cdot 115,3 = 230,6 \text{ kN} \quad (4.15)$$

kde  $F_{v1}$ .....síla vyhazovače pro vystřížení jednoho výstřížku [kN]  
 $F_{vc}$ .....síla vyhazovače pro vystřížení dvou výstřížků [kN]

Celková síla potřebná pro určení lisu

$$F_c = F_{sc} + F_{pc} + F_{vc} \quad (4.16)$$

$$F_c = 2442,6 + 542,4 + 230,6 = 3215,6 \text{ kN}$$

kde  $F_c$ .....celková síla potřebná pro určení lisu [kN]

#### Střížná práce

Střížná práce se vypočítá dle vzorce (2.19):

$$A_{s1} = \frac{0,48 \cdot L \cdot R_m \cdot s^2}{1000}$$

$$A_{s1} = \frac{0,48 \cdot 387,338 \cdot 630 \cdot 5^2}{1000} = 2928,3 \text{ J} \quad (4.17)$$

$$A_{sc} = 2 \cdot A_s = 2 \cdot 2928,3 = 5856,6 \text{ J} \quad (4.18)$$

kde  $A_{s1}$ .....práce pro vystřížení jednoho výstřížku [J]  
 $A_{sc}$ .....práce pro vystřížení dvou výstřížků [J]

#### Práce na přítlačné desce

Práce na přítlačné desce (přidržovači) se vypočítá dle vzorce (2.20):

$$A_{p1} = \frac{2 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h^2}{1000}$$

$$A_{p1} = \frac{2 \cdot 630 \cdot 215,25 \cdot 0,5^2}{1000} = 67,8 \text{ J} \quad (4.19)$$

$$A_{pc} = 2 \cdot A_p = 2 \cdot 67,8 = 135,6 \text{ J} \quad (4.20)$$

kde  $A_{p1}$ .....práce přidržovače pro jeden výstřížek [J]

$A_{pc}$ .....práce přidržovače pro dva výstřižky

[J]

#### Práce vyhazovače

Práce vyhazovače se počítá dle vzorce (2.21):

$$A_{v1} = \frac{S' \cdot p \cdot s}{1000} = \frac{(S_{vys} + S_{odp}) \cdot p \cdot s}{1000}$$
$$A_{v1} = \frac{(1640,574 + 666,016) \cdot 50 \cdot 5}{1000} = 576,6 \text{ J} \quad (4.21)$$

$$A_{vc} = 2 \cdot A_v = 2 \cdot 576,6 = 1153,2 \text{ J} \quad (4.22)$$

kde  $A_{v1}$ .....práce vyhazovače pro jeden výstřižek [J]

$A_{vc}$ .....práce vyhazovače pro dva výstřižky [J]

#### Celková práce

$$A_c = A_{sc} + A_{pc} + A_{vc} \quad (4.23)$$

$$A_c = 5856,6 + 135,6 + 1153,2 = 7145,4 \text{ J}$$

kde  $A_c$ .....celková práce [J]

### 4.2.3 Technologické parametry nástroje

#### Tvar a rozměry nátláčné hrany

Příruba bude stříhána z materiálu o tloušťce  $s = 5 \text{ mm}$ . Z toho důvodu musí být nátláčná hrana na přidržovači, a také na střižnici. Volba rozměrů nátláčné hrany je blíže popsána v kapitole 2.3.6.

Rozměry nátláčné hrany stanoveny dle tab. 2.5:

$a = 2,5 \text{ mm}$  (vzdálenost vrcholu nátláčné hrany od křivky stříhu),

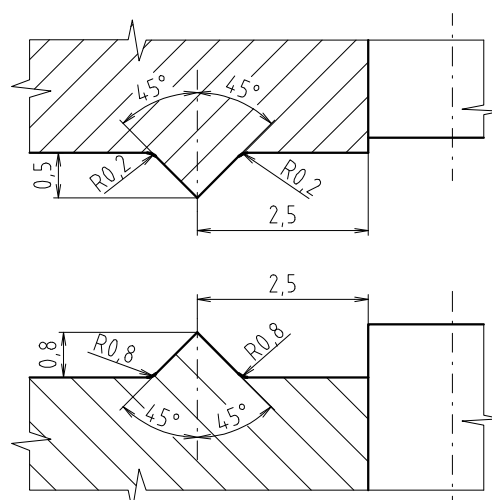
$H = 0,8 \text{ mm}$  (výška nátláčné hrany na střižnici),

$h = 0,5 \text{ mm}$  (výška nátláčné hrany na přidržovači),

$R = 0,8 \text{ mm}$  (poloměr zaoblení na střižnici),

$r = 0,2 \text{ mm}$  (poloměr zaoblení na přidržovači).

Tvar rozměry nátláčných hran jsou zobrazeny na obr. 32.



Obr. 32 Rozměry nátláčných hran

#### Velikost postranního odpadu a můstku

Při technologii přesného stříhání se používá nátláčná hrana, která se zatlačuje do stříhaného plechu ve vzdálenosti ( $a$ ) od okraje střižné hrany a kopíruje její obvod. Proto musí být velikost postranního odpadu a můstku větší než u konvenčního stříhání. Volba velikosti postranního odpadu a můstku je blíže popsána v kapitole 2.3.7.

Z tab. 2.6 je zřejmé, že pro materiál o tloušťce  $s = 5$  mm bude:

- velikost postranního odpadu  $b_1 = 7$  mm
- šířka můstku  $b_2 = 7$  mm

Nebo lze velikosti určit podle diagramu na obr. 23, kde:

- velikost postranního odpadu  $b_1 = 6$  mm
- šířka můstku  $b_2 = 7,5$  mm

Hodnoty postranního odpadu a šířky můstku určené pomocí diagramu na obr. 23 jsou pro materiály do  $R_m = 400$  MPa. Stříhaný materiál má  $R_m = 630$  MPa a z toho důvodu volím pro další výpočty velikost postranního odpadu  $b_1 = 7$  mm a můstku  $b_2 = 7$  mm.

#### 4.2.4 Nástřihový plán

##### Výpočet počtu kusů z role svitku a ekonomika nástřihového plánu

Výstřižek bude stříhán ze svitku plechu. Plech je namotán na buben odvíjaku JO 300/3000, který má vnější průměr 1400 mm a vnitřní průměr bubnu je 460 mm, viz příloha 2.

Výpočet délky pásu plechu na bubnu:

$$l_s = \frac{D_s^2 - d_s^2}{4 \cdot s} \cdot \pi \quad (4.24)$$
$$l_s = \frac{1400^2 - 460^2}{4 \cdot 5} \cdot \pi = 270638 \text{ mm} = 270,6 \text{ m}$$

kde $l_s$ .....celková délka pásu plechu ve svitku	[mm]
$D_s$ .....vnější průměr bubnu	[mm]
$d_s$ .....vnitřní průměr bubnu	[mm]
$s$ .....tloušťka pásu plechu	[mm]

Objednáme tedy svitek o délce 270 m.

##### Výpočet počtu výstřižků z role svitku a ekonomické hodnocení nástřihových plánů

Pro výpočet počtu kusů vystřižených z role svitku jsou porovnávány čtyři varianty nástřihových plánů.

Výstřižky jsou v jednotlivých nástřihových plánech řazeny vedle sebe ve dvou řádcích a vždy se budou stříhat dva výstřižky najednou. Z nástřihových plánů je zřejmé, že nebude vystřižen první výstřižek v prvním řádku. S tím je potřeba počítat při výpočtu využití svitku plechu, je tedy nutné počítat počet kusů výstřižků ze svitku pro každý řádek zvlášť. Také je potřeba odečíst nevyužitou část plechu od druhého střížníku k zadní podpěře plechu.

#### **Varianta A**

Uspořádání výstřižků na pásu plechu pro variantu A ilustruje obr. 33.

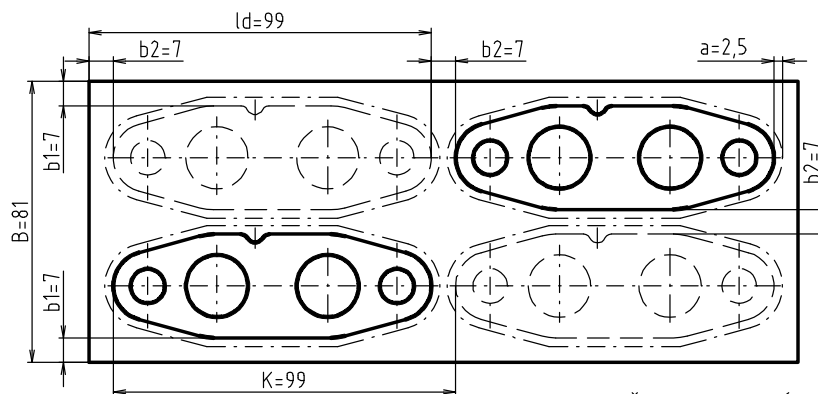
Délka kroku:  $K = 99$  mm

Šířka svitku:  $B = 81$  mm

Nevyužitá část plechu:  $l_0 = 100$  mm

Vzdálenost k prvnímu stříhanému výstřižku v prvním řádku:  $l_d = 99$  mm





Obr. 33 Nástřihový plány pro variantu A

$$n_1 = \frac{l_s - l_0 - l_d}{K} = \frac{270000 - 100 - 99}{99} = 2725,3 = 2725 \text{ ks} \quad (4.25)$$

$$n_2 = \frac{l_s - l_0}{K} = \frac{270000 - 100}{99} = 2726,3 = 2726 \text{ ks} \quad (4.26)$$

$$n_c = n_1 + n_2 = 2725 + 2726 = 5451 \text{ ks} \quad (4.27)$$

kde  $n_1$ .....počet výstřižků v prvním řádku [ks]  
 $n_2$ .....počet výstřižků v druhém řádku [ks]  
 $n_c$ .....počet výstřižků ze svitku [ks]

#### Ekonomika využití varianty A

$$S_S = l_s \cdot B = 270000 \cdot 81 = 21870000 \text{ mm}^2 \quad (4.28)$$

kde  $S_S$ .....celková plocha svitku [mm<sup>2</sup>]  
 $l_s$ .....délka svitku [mm]  
 $B$ .....šířka svitku [mm]

$$k = \frac{(S_{vys} + S_{odp}) \cdot n_c}{S_S} \cdot 100 \quad (4.29)$$

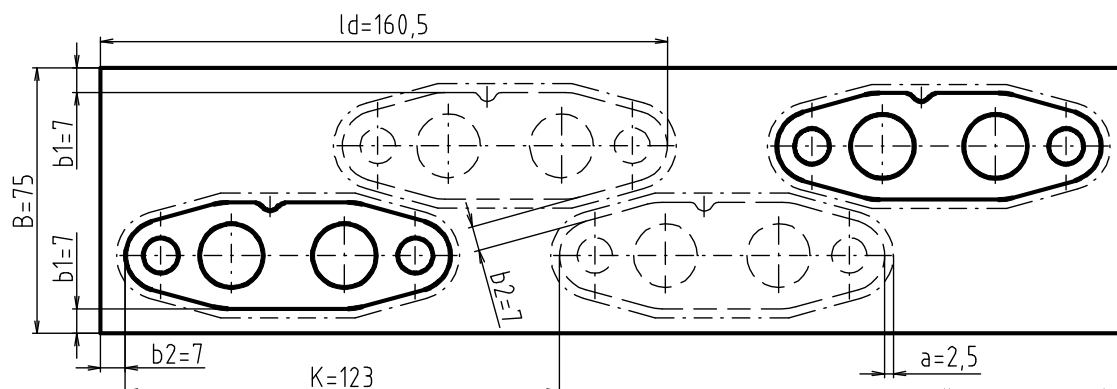
$$k = \frac{(1640,574 + 666,016) \cdot 5451}{21870000} \cdot 100 = 57,5 \%$$

kde  $k$ .....využití svitku plechu [%]  
 $S_{vys}$ .....plocha výstřižku (kapitola 4.2.1) [mm<sup>2</sup>]  
 $S_{odp}$ .....plocha odpadu z výstřižku (kapitola 4.2.1) [mm<sup>2</sup>]  
 $S_S$ .....celková plocha svitku [mm<sup>2</sup>]

Výpočet pro variantu A nástřihového plánu je zpracován v podrobném výpočtu a slouží jako vzorový pro další varianty. Výsledky následujících nástřihových plánů jsou uvedeny v jednotlivých tabulkách.

#### **Varianta B**

Uspořádání výstřižků na pásu plechu ilustruje obr. 34. Podrobný výpočet pro variantu B je proveden v příloze č. 9.



Obr. 34 Nástřihový plán pro variantu B

Tab. 4.1 Varianta B

Vstupní hodnoty						
K [mm]	B [mm]	$l_s$ [mm]	$l_d$ [mm]	$l_0$ [mm]	$S_{vys}$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_{odp}$ [mm <sup>2</sup> ]
123	75	270 000	160,5	100	1640,574	666,016
Výsledné hodnoty						
$S_s$ [mm <sup>2</sup> ]		$n_c$ (1.řada + 2.řada) [ks]			k [%]	
20 250 000		4387 (2193 + 2194)			50 %	

### Varianta C

Nástřihový plán pro variantu C je zobrazen na obr. 35. Podrobný výpočet pro variantu C je proveden v příloze č. 10.

Tab. 4.2 Varianta C

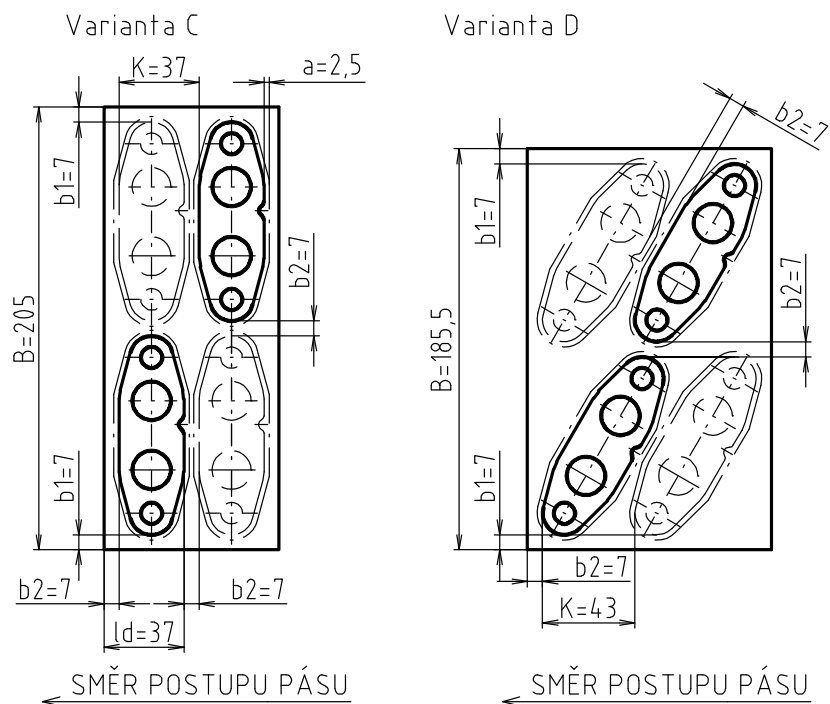
Vstupní hodnoty						
K [mm]	B [mm]	$l_s$ [mm]	$l_d$ [mm]	$l_0$ [mm]	$S_{vys}$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_{odp}$ [mm <sup>2</sup> ]
37	205	270 000	37	100	1640,574	666,016
Výsledné hodnoty						
$S_s$ [mm <sup>2</sup> ]		$n_c$ (1.řada + 2.řada) [ks]			k [%]	
55 350 000		14578 (7293 + 7294)			60,8 %	

### Varianta D

Nástřihový plán pro variantu D je ilustrován na obr. 35. Podrobný výpočet pro variantu D je uveden v příloze č. 11.

Tab. 4.3 Varianta D

Vstupní hodnoty						
K [mm]	B [mm]	$l_s$ [mm]	$l_d$ [mm]	$l_0$ [mm]	$S_{vys}$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_{odp}$ [mm <sup>2</sup> ]
43	185,5	270 000	43	100	1640,574	666,016
Výsledné hodnoty						
$S_s$ [mm <sup>2</sup> ]		$n_c$ (1.řada + 2.řada) [ks]			k [%]	
50 085 000		12551 (6275 + 6276)			57,8 %	



Obr. 35 Nástřihové plány variant C a D

#### Varianta E

Nástřihový plán pro variantu E je zobrazen na obr. 36. Podrobný výpočet pro variantu E je proveden v příloze č. 12.

Tab. 4.4 Varianta E

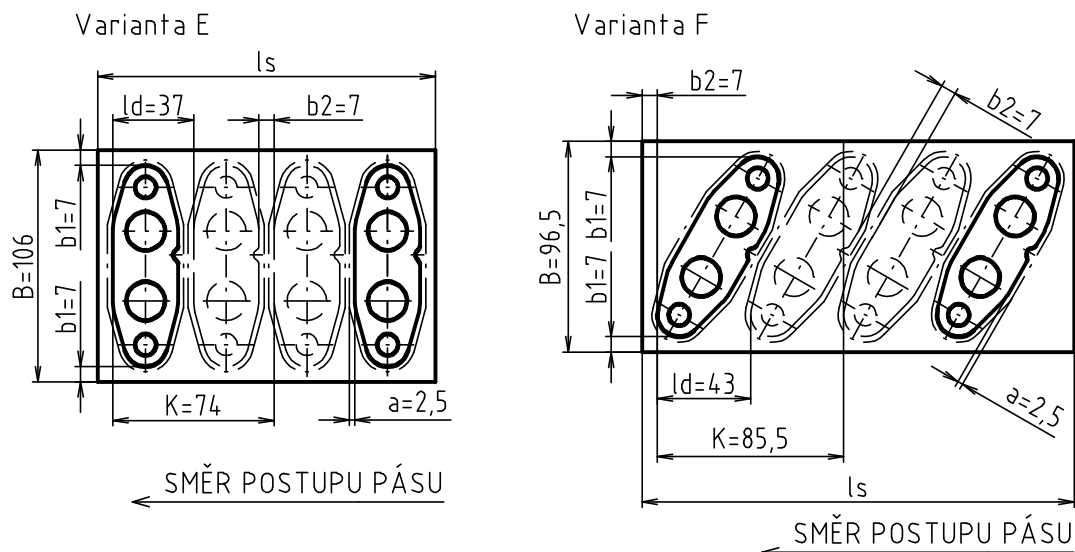
Vstupní hodnoty						
K [mm]	B [mm]	$l_s$ [mm]	$l_d$ [mm]	$l_0$ [mm]	$S_{vys}$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_{odp}$ [mm <sup>2</sup> ]
74	106	270 000	37	100	1640,574	666,016
Výsledné hodnoty						
$S_s$ [mm <sup>2</sup> ]		$n_c$ (1.řada + 2.řada) [ks]			k [%]	
28 620 000		7293 (3646 + 3647)			57,8 %	

#### Varianta F

Nástřihový plán pro variantu F je zobrazen na obr. 36. Podrobný výpočet pro variantu F je proveden v příloze č. 13.

Tab. 4.5 Varianta F

Vstupní hodnoty						
K [mm]	B [mm]	$l_s$ [mm]	$l_d$ [mm]	$l_0$ [mm]	$S_{vys}$ [mm <sup>2</sup> ]	$S_{odp}$ [mm <sup>2</sup> ]
85,5	96,5	270 000	43	100	1640,574	666,016
Výsledné hodnoty						
$S_s$ [mm <sup>2</sup> ]		$n_c$ (1.řada + 2.řada) [ks]			k [%]	
26 055 000		6312 (3156 + 3156)			55,8 %	



Obr. 36 Nástřihové plány variant E a F

Tab. 4.6 Srovnání využití plechu jednotlivých variant nástřihových plánů

Varianta	A	B	C	D	E	F
Využití [%]	57,5	50	60,8	57,8	57,8	55,8

V tab. 4.6 je uveden přehled využití jednotlivých variant nástřihových plánů Z navržených variant má největší využití materiálu varianta C, a proto je tato varianta zvolena pro konstrukci nástroje.

#### Stanovení střížné vůle

Pro stříhaný plech o tloušťce  $s = 5$  mm, dle vzorce (2.23):

$$v = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_{ps}}$$

$$v = (1,5 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \cdot 5 - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,77 \cdot 630} = 0,0264 \text{ mm} \quad (4.30)$$

Střížnou vůli lze také určit z diagramu na obr. 21, dle kterého je  $v = 0,025$  mm. Pro další výpočty byla střížná vůle stanovena na hodnotu 0,026 mm.

#### 4.2.5 Pevnostní výpočty funkčních částí nástroje [1], [16]

Pevnostní výpočty jsou důležité pro správné navržení funkčních částí nástroje.

##### Minimální tloušťka střížnice

Výpočet střížnice se zjednodušuje na výpočet rovinných desek namáhaných ohybem. Tlak na střížnici je rovnoměrně rozložen po stříhaném obvodu. Výpočet minimální výšky střížnice podle autora [1]:

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_{sc}} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 244260} = 62,51 \text{ mm} \quad (4.31)$$

kde  $H$ .....tloušťka střížnice [mm]

$F_{sc}$ ..... střížná síla pro vystřížení dvou výstřižků najednou [kN]

Minimální tloušťka střížnice pro stříhání dvou výstřižků najednou je 62,51 mm. Pro konstrukci nástroje byla zvolena tloušťka střížnice 70 mm.

## Pevnostní výpočty [16]

Kontrola střížníku o průměru 10 mm

### *Kontrola střížníku na otlačení*

Kontrolovat se bude pouze střížník s nejmenším průměrem. Neboť se předpokládá větší napětí na menší dosedací ploše.

$$\sigma_D \geq \frac{F_s}{S_{stř}} = \frac{n \cdot d \cdot 4 \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m}{d_p^2} = \frac{1,3 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 630}{15^2} = 560,6 \text{ MPa} \quad (4.32)$$

kde	$\sigma_D$ .....dovolené napětí v tlaku	[MPa]
	$F_s$ .....střížná síla	[N]
	$S_{stř}$ .....plocha průřezu dosedací plochy střížníku	[mm <sup>2</sup> ]
	$d_p$ .....průměr dosedací plochy střížníku	[mm]
	$n$ .....koeficient vlivu vnějších podmínek ( $n = 1,3$ )	[-]
	$s$ .....tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
	$d$ .....průměr střížníku (10 mm)	[mm]
	$R_m$ .....mez pevnosti	[MPa]

Jelikož je namáhání na dosedací ploše střížníku větší jak 180 MPa u oceli, je nutné použít opěrnou kalenou desku, to z toho důvodu, aby nedocházelo k otlačování plochy. Pro konstrukci nástroje je zvolena kalená opěrná deska z materiálu 19 436.4, která má maximální dovolené napětí v tlaku 2610 MPa.

### *Kontrola střížníku na vzpěr*

Kontrola střížníku na vzpěr se provádí pomocí Eulerových vztahů. Pokud je střížník veden ve vodící desce je možno ho považovat za vetknutý na obou koncích.

Pro konstrukci střížného nástroje bude určena pouze kritická délka nejmenšího střížníku o průměru 10 mm. Zbývající střížníky s většími rozměry budou analogicky vyhovovat pevnostním poměrům. Dle autora [16] se kontrola provádí pomocí výpočtů:

$$F_{krit} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{krit}^2} = \mu \cdot F_s \rightarrow l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot F_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}}{\mu \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot s \cdot 0,77 \cdot R_m}} \quad (4.33)$$

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 10^4}{64}}{1,5 \cdot 1,3 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 5 \cdot 0,77 \cdot 630}} = 117,02 \text{ mm} \quad (4.34)$$

kde	$E$ .....modul pružnosti v tahu ( $2,1 \cdot 10^5$ )	[MPa]
	$I$ .....moment setrvačnosti	[mm <sup>4</sup> ]
	$\mu$ .....koeficient bezpečnosti ( $1,5 \div 2$ )	[-]
	$n$ .....koeficient vlivu vnějších podmínek	[-]
	$d$ .....průměr střížníku (10 mm)	[mm]
	$s$ .....tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
	$R_m$ .....mez pevnosti	[MPa]

Kritická délka střížníků by neměla překročit hodnotu 117 mm. Pro konstrukci nástroje je tedy volen střížník o délce 107 mm.

### Potřebný počet tlačných a vyhazovacích kolíků

#### a) Potřebný počet tlačných kolíků

Tlačné kolíky slouží k rovnoměrnému zatlačení nátláčné hrany do stříhaného materiálu.

$$S_a = \frac{F_{pc}}{p} = \frac{542400}{50} = 10848 \text{ mm}^2 \quad (4.35)$$

$$S_{pt} = \frac{\pi \cdot d_{kt}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 35^2}{4} = 962,11 \text{ mm}^2 \quad (4.36)$$

$$B_k = \frac{S_a}{S_p} = \frac{10848}{962,11} = 11,3 \cong 12 \text{ kusů} \quad (4.37)$$

kde  $S_a$ .....plocha, na kterou působí přitlačná síla [mm<sup>2</sup>]  
 $S_{pt}$ .....plocha průřezu tlačného kolíku [mm<sup>2</sup>]  
 $p$ .....měrný tlak ( $p = 50 \text{ MPa}$ ) [MPa]  
 $B_k$ .....potřebný počet kolíků [ks]  
 $F_{pc}$ .....síla přidržovače pro vystřížení dvou výstřížků [N]  
 $d_{kt}$ .....průměr tlačného kolíku ( $d_{kt} = 35 \text{ mm}$ ) [mm]

#### b) Potřebný počet vyhazovacích kolíků

$$S_b = \frac{F_{vc}}{p} = \frac{230600}{50} = 4612 \text{ mm}^2 \quad (4.38)$$

$$S_{pv} = \frac{\pi \cdot d_{kv}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 201,06 \text{ mm}^2 \quad (4.39)$$

$$B_k = \frac{S_b}{S_{pv}} = \frac{4612}{201,06} = 22,93 \cong 23 \text{ kusů} \quad (4.40)$$

kde  $S_b$ .....plocha, na kterou působí vyhazovací síla [mm<sup>2</sup>]  
 $S_{pv}$ .....plocha průřezu vyhazovacího kolíku [mm<sup>2</sup>]  
 $p$ .....měrný tlak ( $p = 50 \text{ MPa}$ ) [MPa]  
 $B_k$ .....potřebný počet kolíků [ks]  
 $F_{vc}$ .....síla vyhazovače pro vystřížení dvou výstřížků [N]  
 $d_{kv}$ .....průměr vyhazovacího kolíku ( $d_{kv} = 16 \text{ mm}$ ) [mm]

### Rozměry a tolerance střížníku a střížnice

Rozměry a tolerance střížníku a střížnice se stanoví dle ČSN 22 6015.

#### *Děrování rozměru Ø10H7*

JR = 10 mm TA = 0,004 mm

TS =  $^{+0,018}_0$  mm (tolerance H7) TE = 0,007 mm

P = 0,02 mm v = 0,026 mm

$$RAD = \left( JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left( 10 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,004 = 10,01 \pm 0,004 \quad (4.41)$$

$$RED = \left( JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left( 10 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,007 = 10,01 \pm 0,007 \quad (4.42)$$

kde JR.....jmenovitý rozměr součásti [mm]

TS.....tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
P.....přístupná míra opotřebení	[mm]
TE.....výrobní tolerance střížnice	[mm]
TA.....výrobní tolerance střížníku	[mm]
v.....střížná vůle	[mm]
RAD...rozměr střížníku při děrování	[mm]
RED...rozměr střížnice při děrování	[mm]

#### *Děrování rozměru Ø18H7*

JR = 18 mm	TA = 0,004 mm
TS = $^{+0,018}_0$ mm (tolerance H7)	TE = 0,007 mm
P = 0,02 mm	v = 0,026 mm

$$RAD = \left( JR + \frac{P}{2} \right) \pm TA = \left( 18 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,004 = 18,01 \pm 0,004 \quad (4.43)$$

$$RED = \left( JR + \frac{P}{2} \right) \pm TE = \left( 18 + \frac{0,02}{2} \right) \pm 0,007 = 18,01 \pm 0,007 \quad (4.44)$$

#### *Vystřihování rozměru 34 mm*

JR = 34 mm	TA = 0,057 mm
TS = $\pm 0,3$ mm	TE = 0,089 mm
P = 0,23 mm	v = 0,026 mm

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE = \left( 34 - \frac{0,23}{2} \right) + 0,089 = 33,885^{+0,089}_0 \quad (4.45)$$

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left( 34 - \frac{0,23}{2} - 0,026 + 0,057 \right) - 0,057 \quad (4.46)$$

$$RAV = 33,916^{+0}_{-0,057}$$

kde REV....rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
RAV....rozměr střížníku při vystřihování	[mm]

#### *Vystřihování rozměru 18 mm*

JR = 18 mm	TA = 0,035 mm
TS = $\pm 0,2$ mm	TE = 0,054 mm
P = 0,16 mm	v = 0,026 mm

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE = \left( 18 - \frac{0,16}{2} \right) + 0,054 = 17,92^{+0,054}_0 \quad (4.47)$$

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left( 18 - \frac{0,16}{2} - 0,026 + 0,035 \right) - 0,035 \quad (4.48)$$

$$RAV = 17,929^{+0}_{-0,035}$$

#### *Vystřihování rozměru 8 mm*

JR = 8 mm	TA = 0,035 mm
TS = $\pm 0,2$ mm	TE = 0,054 mm
P = 0,16 mm	v = 0,026 mm

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE = \left( 8 - \frac{0,16}{2} \right) + 0,054 = 7,92_0^{+0,054} \quad (4.49)$$

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left( 8 - \frac{0,16}{2} - 0,026 + 0,035 \right) - 0,035 \quad (4.50)$$

$$RAV = 7,929_{-0,035}^0$$

*Vystřihování rozměru 30 mm*

JR = 30 mm

TA = 0,035 mm

TS = ±0,2 mm

TE = 0,054 mm

P = 0,16 mm

v = 0,026 mm

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE = \left( 30 - \frac{0,16}{2} \right) + 0,054 = 29,92_0^{+0,054} \quad (4.51)$$

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left( 30 - \frac{0,16}{2} - 0,026 + 0,035 \right) - 0,035 \quad (4.52)$$

$$RAV = 29,929_{-0,035}^0$$

*Vystřihování rozměru 18,5 mm*

JR = 30 mm

TA = 0,035 mm

TS = ±0,2 mm

TE = 0,054 mm

P = 0,16 mm

v = 0,026 mm

$$REV = \left( JR - \frac{P}{2} \right) + TE = \left( 18,5 - \frac{0,16}{2} \right) + 0,054 = 18,42_0^{+0,054} \quad (4.53)$$

$$RAV = \left( JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left( 18,5 - \frac{0,16}{2} - 0,026 + 0,035 \right) - 0,035 \quad (4.54)$$

$$RAV = 18,429_{-0,035}^0$$

### 4.3 PRINCIP NÁSTROJE

Pro konstrukci nástroje je zvolena varianta s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem. Konstrukce je přizpůsobena stroji HFA 4000smartline od firmy Feintool. Stříhání tvarového obvodu součásti a otvorů uvnitř součásti je prováděno na jeden pracovní zdvih stroje. Současně jsou stříhány dvě součásti. Nástroj se skládá ze dvou částí a to z horní a spodní.

#### Popis střížného nástroje

Horní a spodní část nástroje jsou proti sobě vedeny dvěma vodícími sloupky (43). Zde je použito kuličkové vedení (51), kuličky jsou uspořádány v kleci. Vodící sloupky jsou zalisovány v základové desce (1).

Spodní část nástroje je uspořádána v základové desce (1), která je opatřena 4 úchytnými čepy (25), které slouží k transportu spodní poloviny nástroje. Do základové desky je usazen přidržovač (3), který je proti pootočení zajištěn dvěma kolíky (44). Proti vysunutí přidržovače je použito šesti šroubů (40). V přidržovači je suvně uložen hlavní střížník (16), který je ve spodní části opatřen osazením. Osazení spojuje střížník s kotevní deskou dolní (13). Pomocí



podložky střížníku (12) je na nástroj vyvozena střížná síla. Pohyb střížníku je řízen pomocí podpory střížníku (10), která je v základové desce suvně zalícovaná. Podpora střížníku je připevněna k beranu lisu pomocí šroubu M14. K odstranění odpadu z prostoru hlavního střížníku slouží vyhazovače (14 a 15), které jsou s vůlí zabudovány ve střížníku. Pohyb vyhazovačů je zabezpečen šesti tlačnými kolíky (17) a opěrnou deskou spodní (11). Celý spodní blok, který je tvořen pozicemi (16, 13, 12, 10, 14, 15, 17 a 11) je proti vysunutí ze základové desky zabezpečen šroubem (37) s podložkou (23).

Horní část je tvořena upínací deskou (2), která je opatřena čtyřmi úchytovými čepy (25), které slouží k transportu nástroje. Do upínací desky je usazena střížnice (4), která je proti pootočení zajištěna dvěma kolíky (44). Střížnice je k upínací desce upevněna šesti šrouby (40). Ve střížnici je suvně zalícovaný hlavní vyhazovač (20), jehož polohu zajišťují tři kolíky (46 a 47) upevněné v ukotvovací desce (8). Vyhazovač je ovládán tlačnými kolíky (22). Ve vyhazovači jsou uloženy děrovací střížníky (19 a 21) a ve spodní části je našroubován odleповák (52). Odleповák slouží k odlepení vystřižené součásti od hlavního vyhazovače (20). Správné vedení vyhazovače je zajištěno vodící deskou (5). Pomocí dvou kolíků (36) je střížnice správně ustavena vůči střížnici (4). Děrovací střížníky (19 a 21) jsou ukotveny v kotevní desce horní (6), která se svou spodní částí opírá o vodící desku (5). O horní část kotevní desky je opřena opěrná deska horní (7). Pozice (4, 5, 6 a 7) jsou sešroubovány v jeden celek pomocí šroubů (38). Tato část je zakryta víčkem (9), které je proti pootočení zajištěno kolíkem (48) a proti vysunutí podložkou (23) s šroubem (37). Na vyhazovací kroužek (8) je přiveden pohyb od hydraulického pístu. Správné vedení pásu plechu je zajištěno vedením pásu (28), které je k horní polovině nástroje přišroubováno šrouby (39).

Do pracovního prostoru nástroje je přiváděn pomocí trysek stlačený vzduch, který slouží k odstranění hotových výstřížků. Trysky jsou součástí stroje.

#### **4.4 VOLBA STROJE**

Rozhodujícím faktorem pro volbu stroje je velikost celkové střížné síly potřebné k vystřižení součásti. Celková střížná síla je dána součtem síly střížné, vyhazovací a přidržovací, viz kapitola 4.2.2. Při trvalém chodu nesmí být lis zatížen silou větší než 90 % dovoleného zatížení stroje. Další parametry, které rozhodují o volbě stroje jsou rozměry pracovního prostoru, kam se musí vložit střížný nástroj a parametry stříhaného plechu, zde rozhoduje šířka a tloušťka.

Podle vypočtené celkové střížné síly (kapitola 4.2.2) volím trojčinný lis HFA 4000smartline od firmy Feintool. Firma Feintool je jedním z největších výrobců lisů pro přesné stříhání.

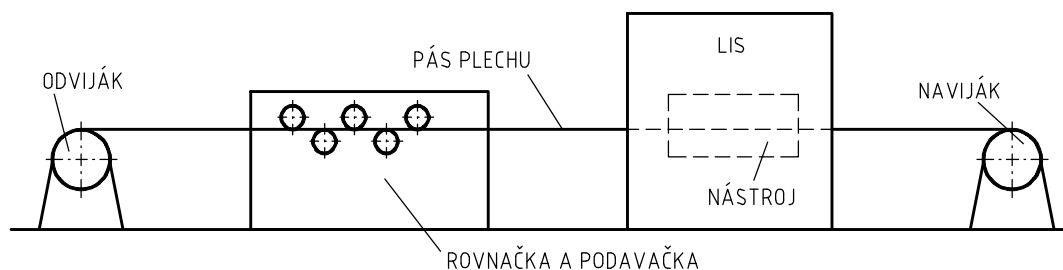
Tab. 4.7 Technické parametry lisu HFA 4000smartline

Celková síla	min. – max. kN	2500 - 4000
Přidržovací síla	min. – max. kN	200 - 2000
Vyhazovací síla	min. – max. kN	100 - 1000
Zdvih beranu	mm	150/230
Takt zdvihů	n/min	60
Výška otevření	mm	330 - 410
Upínací plocha stolu	mm	790 - 760
Šířka pásu	mm	40 - 350
Tloušťka plechu	max. mm	16
Celkový příkon	kW	100/114
Rozměry stroje š x d x v	mm	5800 x 8000 x 3530
Hmotnost	kg	33 000

Další parametry stroje jsou uvedeny v příloze 1.

#### 4.5 VÝROBNÍ LINKA

Na obr. 37 je znázorněno uspořádání výrobní linky. Výrobní linka je tvořena lisem HFA 4000smartline od Švýcarské firmy Feintool, odvíjecím a navíjecím zařízením a rovnací podavačkou.



Obr. 37 Schéma výrobní linky

- Odvíjecí zařízení – slouží jako zásobník svitku materiálu. Pomocí odvíjáku je odvíjen pás plechu k dalšímu zařízení na lince, kterým je rovnací podavačka. Jako odvíjecí zařízení je zvolen odvíják JO 300/3000 od firmy Mastr s.r.o., jehož technické parametry jsou uvedeny v příloze 2.
- Podávací rovnačka – slouží k rovnání plechu odvíjeného ze svitku a k rovnoměrnému podávání do nástroje upnutého v lisu. Jako podávací rovnačka je pro linku zvolena rovnačka RPMA 300/80 od firmy Mastr s.r.o.. Příslušné technické parametry jsou uvedeny v příloze 3.
- Lis – volba lisu byla provedena v kapitole 4.4. Do pracovního prostoru lisu je upnut střížný nástroj.
- Navíjecí zařízení – slouží k navíjení pásu plechu, který vychází po vystřížení součásti z nástroje. Jde vlastně o odpad. Pro navíjení lze použít stejného zařízení jako pro odvíjení, tedy JO 300/3000 od firmy Master s.r.o..

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [19], [20]

Tato kapitola je zaměřena na ekonomické zhodnocení výroby. Hlavním cílem je zjistit náklady na výrobu jedné součásti a stanovit od jakého počtu vyrobených kusů bude výroba zisková. Ve výpočtech je uvažována výrobní série 800 000 ks/rok a nejsou zde zahrnuty náklady na výrobní linku (stroj, rovnací, odvíjecí a navíjecí zařízení), protože toto zařízení je již součástí podniku.

Ekonomické zhodnocení bude provedeno pro stávající výrobu součásti postupovým stříháním a pro nově navrženou technologii přesného stříhání s nátlacnou hranou. Vstupní hodnoty potřebné pro výpočet jsou uvedeny v tab. 5.1.

Tab. 5.1 Vstupní hodnoty

Životnost nástroje	$T_s = 3$ roky
Roční výrobní dávka	$Q = 800\,000$ ks/rok
Jednicové mzdy	$J_M = 100$ %
Výrobní režie	$V_R = 440$ %
Správní režie	$S_R = 120$ %
Ostatní přímé náklady	$OPN = 25$ %

### Zpracovatelská režie:

$$Z_R = J_M + V_R + S_R + OPN \quad (5.1)$$

$$Z_R = 100\% + 440\% + 120\% + 25\% = 685 \%$$

### Tarifní třídy:

TTK6 = 100 Kč/hod (obsluha linky)

TTK6 = 120 Kč/hod (seřizovač)

TTK7 = 120 Kč/hod (nástrojař)

## 5.1 PŘÍMÉ NÁKLADY [19]

Přímé náklady jsou takové náklady, které lze přiřadit konkrétnímu nákladovému objektu, tedy vyráběné součástce. Pomocí přímých nákladů se sledují náklady, které lze jednoznačně vztáhnout a sledovat k nákladovému objektu např.: materiálové a mzdové náklady.

### 5.1.1 Náklady na materiál

#### Pro postupové stříhání

Tab. 5.2 Vstupní hodnoty materiálu pro postupové stříhání

Materiál – polotovár	17 040; 5x1000x2000
Cena za 1 kg materiálu v tabuli	$C_p = 49$ Kč/kg
Cena za 1 kg odpadu	$C_{ODP} = 28$ Kč/kg
Využití tabule	$k_t = 56$ %
Plocha tabule	$S_t = 2000000 \text{ mm}^2 = 2 \text{ m}^2$
Plocha jednoho výstřížku	$S_{vys.} = 1640,574 \text{ mm}^2$
Počet výstřížků z jedné tabule	$n_t = 486$ ks

Cena za 1 kg svitku nerezové oceli 17 040 je stanovena dle ceníku firmy Feron a.s. [34] a cena odpadu dle firmy Partr spol. s.r.o.

#### Hmotnost tabule:

$$m_t = \rho \cdot S_t \cdot s = 7850 \cdot 2 \cdot 0,005 = 78,5 \text{ kg} \quad (5.2)$$

kde  $m_t$ .....hmotnost tabule [kg]  
 $\rho$ .....hustota materiálu (pro ocel 7850 kg/m<sup>3</sup>) [kg/m<sup>3</sup>]  
 $S_t$ .....plocha tabule plechu [m<sup>2</sup>]  
 $s$ .....tloušťka plechu [m]

#### Hmotnost spotřebovaného plechu za rok:

$$m_p = m_t \cdot n_{\text{Ctab}} = 78,5 \cdot 1647 = 115160 \text{ kg} \quad (5.3)$$

kde  $m_p$ .....hmotnost spotřebovaného plechu za rok [kg]  
 $n_{\text{Ctab}}$ .....celková spotřeba tabulí plechu (viz. rovnice (3.4)) [ks]

#### Hmotnost výstřížku v roční dávce:

$$m_v = \rho \cdot S_{\text{vys}} \cdot s \cdot Q \quad (5.4)$$

$$m_v = 7850 \cdot 0,001640574 \cdot 0,005 \cdot 800000 = 51514,02 \text{ kg}$$

kde  $m_v$ .....hmotnost výstřížku v roční dávce [kg]

#### Hmotnost odpadu za rok:

$$m_o = m_p - m_v = 115160 - 51514,02 = 63645,98 \text{ kg} \quad (5.5)$$

kde  $m_o$ .....hmotnost odpadu za rok [kg]

#### Nákupní cena materiálu:

$$C_{\text{Pm}} = m_p \cdot C_p = 115160 \cdot 49 = 5642840 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

kde  $C_{\text{Pm}}$ .....nákupní cena materiálu [Kč]

#### Cena odpadu na sérii:

$$C_o = m_o \cdot C_{\text{ODP}} = 63645,98 \cdot 28 = 1782088 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

kde  $C_o$ .....cena odpadu na sérii [Kč]

#### Cena materiálu série:

$$N_{\text{mA}} = C_{\text{Pm}} - C_o = 5642840 - 1782088 = 3860752 \text{ Kč} \quad (5.8)$$

kde  $N_{\text{mA}}$ .....cena materiálu série - postupové stříhání [Kč]

#### Cena materiálu součásti (náklady na jednici):

$$N_{\text{mjA}} = \frac{N_{\text{mA}}}{Q} = \frac{3860752}{800000} = 4,83 \text{ Kč} \quad (5.9)$$

kde  $N_{\text{mjA}}$ .....cena materiálu jedné součásti – postupové stříhání [Kč]

### Pro přesné stříhání s nátláčnou hranou

Tab. 5.3 Vstupní hodnoty materiálu pro stříhání s nátláčnou hranou

Materiál - polotovár	17 040; 5x205x270000
Cena za 1 kg material ve svitku	$C_P = 69 \text{ Kč/kg}$
Cena za 1 kg odpadu	$C_{ODP} = 28 \text{ Kč/kg}$
Využití jednoho svitku	$\eta = 60,8 \%$
Plocha jednoho svitku	$S_S = 55350000 \text{ mm}^2$
Plocha jednoho výstřížku	$S_{vys.} = 1640,574 \text{ mm}^2$
Počet výstřížků z jednoho svitku	$n_S = 14578 \text{ ks}$

Cena za 1 kg svitku nerezové oceli 17 040 je stanovena dle ceníku firmy Feron a.s. [34] a cena odpadu dle firmy Partr spol. s.r.o..

#### Hmotnost svitku:

$$m_s = \rho \cdot S_S \cdot s \quad (5.10)$$

$$m_s = 7850 \cdot 55,35 \cdot 0,005 = 2172,48 \text{ kg}$$

kde  $m_s$ .....hmotnost svitku [kg]  
 $\rho$ .....hustota materiálu (pro ocel 7850 kg/m<sup>3</sup>) [kg/m<sup>3</sup>]  
 $S_S$ .....plocha svitku [m<sup>2</sup>]  
 $s$ .....tloušťka plechu [m]

#### Počet svitků na roční dávku:

$$n_p = \frac{Q}{n_c} = \frac{800000}{14578} = 54,87 \cong 55 \text{ ks} \quad (5.11)$$

kde  $n_p$ .....počet svitků na roční dávku [ks]  
 $n_c$ .....počet výstřížků z jednoho svitku [ks]  
 $Q$ .....roční výrobní dávka [ks]

#### Hmotnost spotřebovaného plechu za rok:

$$m_p = m_s \cdot n_p = 2172,48 \cdot 55 = 119486,4 \text{ kg} \quad (5.12)$$

kde  $m_p$ .....hmotnost spotřebovaného plechu za rok [kg]

#### Hmotnost výstřížku v roční dávce:

$$m_v = \rho \cdot S_{vys.} \cdot s \cdot Q \quad (5.13)$$

$$m_v = 7850 \cdot 0,001640574 \cdot 0,005 \cdot 800000 = 51514,02 \text{ kg}$$

kde  $m_v$ .....hmotnost výstřížku v roční dávce [kg]

#### Hmotnost odpadu za rok:

$$m_o = m_p - m_v = 119486,4 - 51514,02 = 67972,38 \text{ kg} \quad (5.14)$$

kde  $m_o$ .....hmotnost odpadu za rok [kg]

#### Nákupní cena materiálu:

$$C_{pm} = m_p \cdot c_p = 119486,4 \cdot 69 = 8244562 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

kde  $C_{pm}$ .....nákupní cena materiálu [Kč]

Cena odpadu na sérii:

$$C_o = m_o \cdot C_{ODP} = 67972,38 \cdot 28 = 1903226 \text{ Kč} \quad (5.16)$$

kde  $C_o$ .....cena odpadu na sérii [Kč]

Cena materiálu série:

$$N_{mB} = C_{pm} - C_o = 8244562 - 1903226 = 6341336 \text{ Kč} \quad (5.17)$$

kde  $N_{mB}$ .....cena materiálu série - přesné střihání [Kč]

Cena materiálu součásti (náklady na jednici):

$$N_{mjB} = \frac{N_{mB}}{Q} = \frac{6341336}{800000} = 7,93 \text{ Kč} \quad (5.18)$$

kde  $N_{mjB}$ .....cena materiálu jedné součásti – přesné střihání [Kč]

Rozdíl v nákladech na materiál:

$$\Delta N_m = N_{mA} - N_{mB} = 3860752 - 6341336 = -2480584 \text{ Kč} \quad (5.19)$$

kde  $\Delta N_m$ .....rozdíl nákladů na materiál [Kč]

Nově navržená technologie (přesné střihání s nátláčnou hranou) je v nákladech na materiál o 2 480 584 Kč dražší než současná technologie (postupové střihání). Je to způsobeno většími okraji u nově navržené technologie a cenou materiálu, kde cena materiálu ve svitku je vyšší než v tabuli.

### 5.1.2 Mzdové náklady

Mzdové náklady jsou stanoveny na jednoho pracovníka. Pracovník bude obsluhovat pracovní linku, jejíž návrh byl proveden v kapitole 4.5.

#### Pro postupové střihání

**Přímé náklady na mzdy – střihání pruhů:**

$$N_{ps} = n_H \cdot TTK6 = 50 \cdot 100 = 5000 \text{ Kč} \quad (5.20)$$

kde  $n_H$ .....počet normohodin [hod]  
 $N_{ps}$ .....přímé náklady na mzdy – střihání pruhů [Kč]

**Přímé náklady na mzdy – postupový nástroj:**

$$N_{pn} = n_H \cdot TTK6 = 400 \cdot 100 = 40000 \text{ Kč} \quad (5.21)$$

kde  $N_{pn}$ .....přímé náklady na mzdy – postupový nástroj [Kč]

Další přímé náklady, které jsou hrazené zaměstnavatelem jsou sociální a zdravotní pojištění. Výše sociálního pojištění je 13,5 % a zdravotního 9 %.

$$K_p = 0,135 + 0,009 = 0,144 \quad (5.22)$$

$$N_{pd} = (N_{ps} + N_{pn}) \cdot K_p = (5000 + 40000) \cdot 0,144 = 6480 \text{ Kč} \quad (5.23)$$

kde  $N_{pd}$ .....náklady an sociální a zdravotní pojištění [Kč]  
 $K_p$ .....výše sociálního a zdravotního pojištění [%]

#### **Celkové mzdové náklady:**

$$N_{pcA} = N_{ps} + N_{pc} + N_{pd} = 5000 + 40000 + 6480 = 51480 \text{ Kč} \quad (5.24)$$

kde  $N_{pcA}$ .....celkové mzdové náklady pro postupové stříhání [Kč]

#### **Mzdové náklady na jednici:**

$$N_{mzjA} = \frac{N_{pcA}}{Q} = \frac{51480}{800000} = 0,065 \text{ Kč/ks} \quad (5.25)$$

kde  $N_{mzjA}$ .....mzdové náklady na jednici [Kč/ks]

#### **Pro přesné stříhání s nátláčnou hranou**

Pracovní doba pracovníka je stanovena na 8 hodin a tato doba je rozdělena na jednotlivé časy:

výrobní čas  $t_v = 6,5$  hodin

kontrolní čas  $t_k = 1$  hodin

čas na údržbu  $t_u = 0,5$  hodin

#### **Počet součástí vyrobených za hodinu:**

$$n_h = n_L \cdot 60 = 50 \cdot 60 = 3000 \text{ ks/hod} \quad (5.26)$$

kde  $n_L$ .....využitelný počet zdvihů lisu ( $n_L = 50 \text{ min}^{-1}$ ) [ $\text{min}^{-1}$ ]

#### **Počet součástí vyrobených za směnu:**

$$n_{ssm} = t_v \cdot n_h = 6,5 \cdot 3000 = 19500 \text{ ks/směnu} \quad (5.27)$$

#### **Počet směn:**

$$n_{sm} = \frac{Q}{n_{ssm}} = \frac{800000}{19500} = 41,1 \rightarrow 42 \text{ ks} \quad (5.28)$$

K vyrobení série 800 000 ks součástí je potřeba 42 směn.

#### **Počet hodin k vyrobení součástí:**

$$n_H = (t_v + t_k + t_u) \cdot n_{sm} = (6,5 + 1 + 0,5) \cdot 42 = 336 \text{ hod} \quad (5.29)$$

#### **Přímé náklady na mzdy:**

$$N_p = n_H \cdot TTK5 = 336 \cdot 100 = 33600 \text{ Kč} \quad (5.30)$$

Další přímé náklady, které jsou hrazené zaměstnavatelem jsou sociální a zdravotní pojištění. Výše sociálního pojištění je 13,5 % a zdravotního 9 %.

$$K_p = 0,135 + 0,009 = 0,144 \quad (5.31)$$

$$N_{pd} = N_p \cdot K_p = 33600 \cdot 0,144 = 4838 \text{ Kč} \quad (5.32)$$

kde  $N_{pd}$ .....náklady na sociální a zdravotní pojištění [Kč]

#### **Celkové mzdové náklady:**

$$N_{pcB} = N_p + N_{pd} = 33600 + 4838 = 38438 \text{ Kč} \quad (5.33)$$

**Mzdové náklady na jednici:**

$$N_{mzjB} = \frac{N_{pcB}}{Q} = \frac{38438}{800000} = 0,05 \text{ Kč} \quad (5.34)$$

## 5.2 NEPŘÍMÉ NÁKLADY [20]

Nepřímé náklady jsou takové náklady, které nelze přiřadit konkrétnímu nákladovému objektu. Do nepřímých nákladů jsou zahrnuty náklady na nástroj a náklady na správní a výrobní režii.

**Správní režie:**

$$N_{srA} = 120\% \cdot N_{pcA} = 1,2 \cdot 51480 = 61776 \text{ Kč} \quad (5.35)$$

$$N_{srB} = 120\% \cdot N_{pcB} = 1,2 \cdot 38438 = 46126 \text{ Kč} \quad (5.36)$$

kde  $N_{srA}$ .....správní režie – postupové stříhání [Kč]

$N_{srB}$ .....správní režie – přesné stříhání [Kč]

**Výrobní režie:**

$$N_{vrA} = 440\% \cdot N_{pcA} = 4,4 \cdot 51480 = 226512 \text{ Kč} \quad (5.37)$$

$$N_{vrB} = 440\% \cdot N_{pcB} = 4,4 \cdot 38438 = 169127 \text{ Kč} \quad (5.38)$$

kde  $N_{vrA}$ .....výrobní režie – postupové stříhání [Kč]

$N_{vrB}$ .....výrobní režie – přesné stříhání [Kč]

### 5.2.1 Náklady na nástroj

#### Pro postupové stříhání

Čas na výrobu:  $VČ = 130 \text{ Nh}$  v TTK7

**Náklady na jednicové mzdy:**

$$J_M = VČ \cdot TTK7 = 130 \cdot 120 = 15600 \text{ Kč} \quad (5.39)$$

kde  $J_M$ .....náklady na jednicové mzdy [Kč]

$VČ$ .....čas na výrobu nástroje [Nh]

TTK7...tarifní třída – nástrojař [Kč/hod]

**Zpracovatelské náklady:**

$$Z_N = J_M \cdot Z_R = 15600 \cdot 685\% = 106860 \text{ Kč} \quad (5.40)$$

kde  $Z_N$ .....zpracovatelské náklady [Kč]

**Zisk nářad'ovny:**

Zisk nářad'ovny je stanoven na 20% zpracovatelských nákladů.

$$Z = 20\% \cdot Z_N = 0,2 \cdot 106860 = 21372 \text{ Kč} \quad (5.41)$$

kde  $Z$ .....zisk nářad'ovny [Kč]

**Cena materiálu nástroje:**



Předpokládaná cena materiálu nástroje je 17000 Kč.

#### Náklady na nástroj:

$$N_A = Z_N + Z + \text{cena za mat.} = 106860 + 21372 + 17000 = 145232 \text{ Kč} \quad (5.42)$$

kde  $N_A$ .....náklady na nástroj - postupové stříhání [Kč]

#### Pro přesné stříhání s nátlacnou hranou

Čas na výrobu:  $V\check{C} = 260 \text{ Nh}$  v TTK7

#### Náklady na jednicové mzdy:

$$J_M = V\check{C} \cdot \text{TTK7} = 260 \cdot 120 = 31200 \text{ Kč} \quad (5.43)$$

kde  $J_M$ .....náklady na jednicové mzdy [Kč]  
 $V\check{C}$ .....čas na výrobu nástroje [Nh]  
 TTK7...tarifní třída – nástrojař [Kč/hod]

#### Zpracovatelské náklady:

$$Z_N = J_M \cdot Z_R = 31200 \cdot 685\% = 213720 \text{ Kč} \quad (5.44)$$

kde  $Z_N$ .....zpracovatelské náklady [Kč]

#### Zisk nářad'ovny:

Zisk nářad'ovny je stanoven na 20% zpracovatelských nákladů.

$$Z = 20\% \cdot Z_N = 0,2 \cdot 213720 = 42744 \text{ Kč} \quad (5.45)$$

kde  $Z$ .....zisk nářad'ovny [Kč]

#### Cena materiálu nástroje:

Tab. 5.4 Cena materiálu pro nástroj

Materiál	Hmotnost [kg]	Cena [Kč/kg]	Cena celkem [Kč]
ocel tř. 11	488	32	15616
ocel tř. 19	113,5	97	11010
ostatní spojovací mat.			4500
<b>Cena celkem za materiál</b>			<b>31126</b>

Ceny za jeden kilogram oceli třídy 11 a 19 jsou určeny dle ceníku firmy Feron a.s..

#### Náklady na nástroj:

$$N_B = Z_N + Z + \text{cena za mat.} = 213720 + 42744 + 31126 = 287590 \text{ Kč} \quad (5.46)$$

kde  $N_B$ .....náklady na nástroj – přesné stříhání [Kč]

### 5.3 CELKOVÉ NÁKLADY

Celkové náklady jsou dány součtem jednotlivých položek nákladů.

#### Pro postupové stříhání

$$N_{CA} = N_{mA} + N_{pCA} + N_{srA} + N_{vrA} + N_A \quad (5.47)$$

$$N_{CA} = 3860752 + 51480 + 61776 + 226512 + 145232 = 4345752 \text{ Kč}$$

kde  $N_{CA}$ .....celkové náklady – postupové střihání [Kč]

**Celkové náklady na jednici:**

$$N_{CjA} = \frac{N_{CA}}{Q} = \frac{4345752}{800000} = 5,43 \text{ Kč} \quad (5.48)$$

kde  $N_{CjA}$ .....celkové náklady na jednici – postupové střihání [Kč]

**Pro přesné střihání s nátláčnou hranou**

$$N_{CB} = N_{mB} + N_{pcB} + N_{srB} + N_{vrB} + N_B \quad (5.49)$$

$$N_{CB} = 6341336 + 38438 + 46126 + 169127 + 287590 = 6882617 \text{ Kč}$$

kde  $N_{CB}$ .....celkové náklady – přesné střihání [Kč]

**Celkové náklady na jednici:**

$$N_{CjB} = \frac{N_{CB}}{Q} = \frac{6882617}{800000} = 8,6 \text{ Kč} \quad (5.50)$$

kde  $N_{CjB}$ .....celkové náklady na jednici – přesné střihání [Kč]

## 5.4 CENA SOUČÁSTI

Cena součásti se stanovuje na základě vypočtených nákladů na jednici a je navýšena o ziskovou přírážku. Zisková přírážka je stanovena na 30 % ceny součásti.

**Pro postupové střihání**

Cena součásti ( $p_s$ ):

$$p_s = 1,3 \cdot N_{CjA} = 1,3 \cdot 5,43 = 7,1 \text{ Kč} \quad (5.51)$$

Celkové tržby ( $T_C$ ):

$$T_C = 1,3 \cdot N_{CA} = 1,3 \cdot 4345752 = 5649478 \text{ Kč} \quad (5.52)$$

Zisk:

$$Z_{CA} = T_C - N_{CA} = 5649478 - 4345752 = 1303726 \text{ Kč} \quad (5.53)$$

kde  $Z_{CA}$ .....zisk – postupové střihání [Kč]

**Pro přesné střihání s nátláčnou hranou**

Cena součásti ( $p_s$ ):

$$p_s = 1,3 \cdot N_{CjB} = 1,3 \cdot 8,6 = 11,18 \text{ Kč} \quad (5.54)$$

Celkové tržby ( $T_C$ ):

$$T_C = 1,3 \cdot N_C = 1,3 \cdot 6882617 = 8947402 \text{ Kč} \quad (5.55)$$

Zisk:

$$Z_{CB} = T_C - N_C = 8947402 - 6882617 = 2064785 \text{ Kč} \quad (5.56)$$

kde  $Z_{CB}$ .....zisk – přesné střihání [Kč]

**Rozdíl v ziscích:**

$$Z_r = Z_{CB} - Z_{CA} = 2064785 - 1303726 = 761059 \text{ Kč} \quad (5.57)$$

kde  $Z_r$ .....rozdíl v ziscích jednotlivých variant [Kč]

Z rozdílu v ziscích jasné vyplývá, že nově navržená technologie přesného stříhání je při dané výrobní sérii ziskovější.

## 5.5 STANOVENÍ BODU ZVRATU [21]

Bod zvratu je takové množství produkce firmy, při kterém nevzniká žádný zisk ani ztráta. Dosahuje-li firma této produkce, pak se tržby rovnají nákladům. Pro výpočet bodu zvratu slouží rovnice (5.58).

$$Z = \frac{FN}{p_s - vn} \quad (5.58)$$

kde  $Z$ .....bod zvratu [ks]  
 $FN$ ....fixní náklady [Kč]  
 $vn$ ....variabilní náklady [Kč]  
 $p_s$ .....cena jedné součásti [Kč]

### Pro postupové stříhání

Fixní náklady:

$$FN = N_{srA} + N_{vrA} + N_A = 61776 + 226512 + 145232 = 433520 \text{ Kč} \quad (5.59)$$

Variabilní náklady:

$$vn = N_{mjA} + N_{mzjA} = 4,83 + 0,065 = 4,9 \text{ Kč} \quad (5.60)$$

Bod zvratu:

$$Z_A = \frac{FN}{p_s - vn} = \frac{433520}{7,1 - 4,9} = 197055 \text{ ks} \quad (5.61)$$

kde  $Z_A$ .....bod zvratu pro postupové stříhání (obr. 38) [ks]

### Pro přesné stříhání s nátláčnou hranou

Fixní náklady:

$$FN = N_{srB} + N_{vrB} + N_A = 46126 + 169127 + 287590 = 502843 \text{ Kč} \quad (5.62)$$

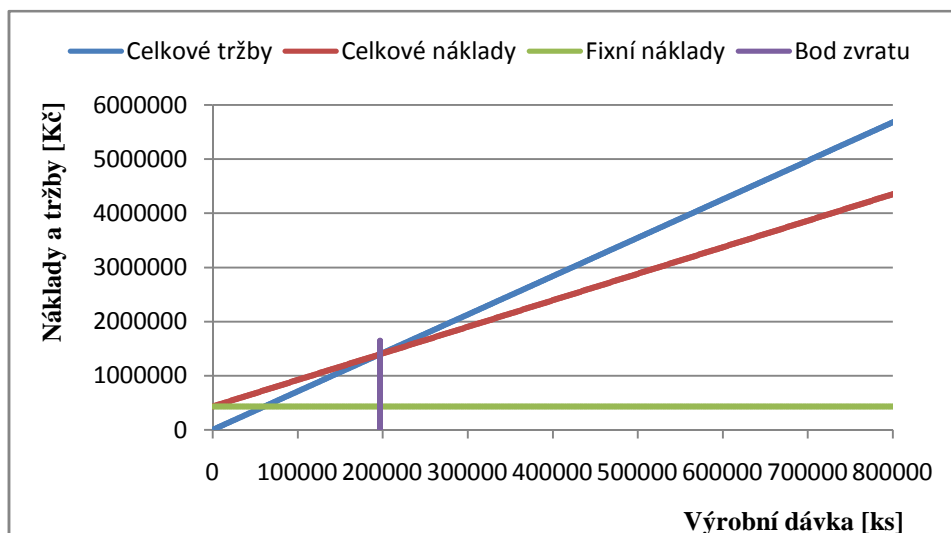
Variabilní náklady:

$$vn = N_{mjB} + N_{mzjB} = 7,93 + 0,05 = 7,98 \text{ Kč} \quad (5.63)$$

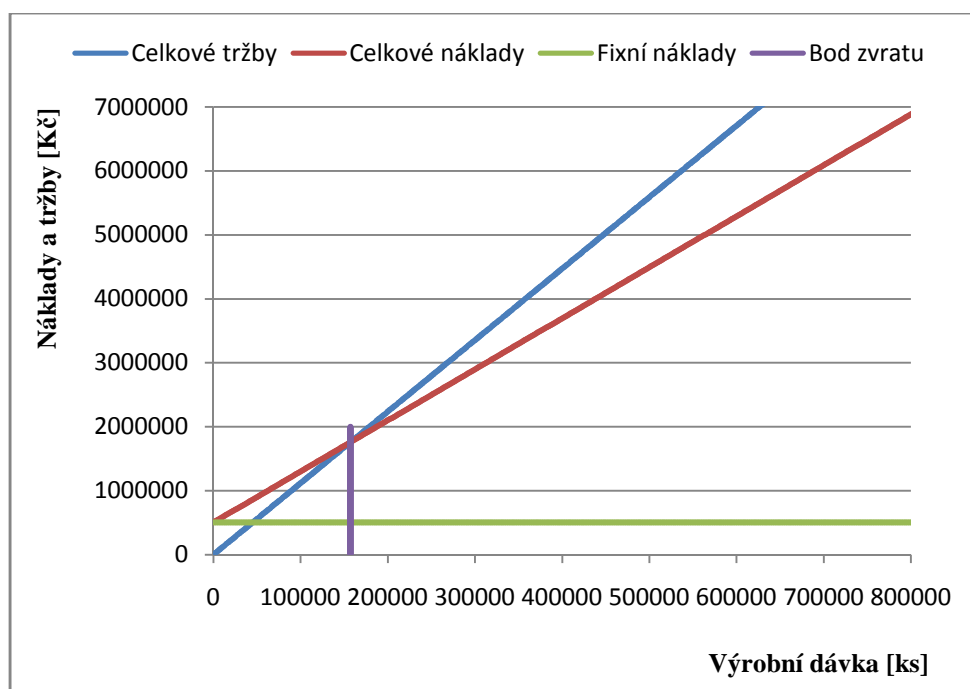
Bod zvratu:

$$Z_B = \frac{FN}{p_s - vn} = \frac{502843}{11,18 - 7,98} = 157139 \text{ ks} \quad (5.64)$$

kde  $Z_B$ .....bod zvratu pro přesné stříhání (obr. 39) [ks]



Obr. 38 Bod zvratu pro postupové stříhání



Obr. 39 Bod zvratu pro přesné stříhání s nátláčnou hranou

Ekonomické hodnocení je provedeno jak pro postupové stříhání zadané součásti, tak pro přesné stříhání s nátláčnou hranou. Výpočty jsou pouze orientační, protože přesné hodnoty pro výpočet lze jen velmi obtížně získat. Hodnoty pro výpočty byly získány z různých firem anebo voleny po konzultaci s vedoucím práce.

Na obr. 38 a obr. 39 jsou zobrazeny jednotlivé body zvratu po dané technologii stříhání. Obr. 38 znázorňuje bod zvratu pro technologii postupového stříhání. Okamžik, kdy se technologie stane ziskovou, nastává při výrobě více jak 197 055 ks součástí. Technologie přesného stříhání se stává ziskovou při výrobě 157 139 ks součástí, viz obr. 39. Zisk při výrobě součástí přesným stříháním činí 2 064 785 Kč, což je o 762 409 Kč vyšší než při použití postupového stříhání.

## 6 ZÁVĚR

V diplomové práci je komplexně zpracována technologie přesného stříhání s nátláčnou hranou pro zadanou součást „PŘÍRUBA“, která je vyráběna z korozivzdorné oceli 17 040.

Zadanou součást lze vyrábět několika různými technologiemi výroby, např. řezáním laserem a vodním paprskem nebo postupovým či přesným stříháním. Po zvážení všech kladů a záporů jednotlivých metod byla pro výrobu zadané součásti navržena technologie přesného stříhání, kterou lze danou součást vyrobit v požadovaném počtu kusů a přesnosti.

Dle vypočtené celkové síly 3 215,6 kN byl pro výrobu navržen lis HFA 4000smartline od firmy Feintool s jmenovitou silou 4000 kN. Pro výrobu byl navržen nástroj s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem. V nástroji budou na jeden pracovní zdvih stroje stříhány dvě součásti najednou. Polotovarem bude svitek plechu o šířce 205 mm a délce 270 m.

V rámci ekonomického hodnocení výroby byla z hlediska nákladů porovnávána technologie stávající (postupové stříhání) s nově navrženou (přesné stříhání s nátláčnou hranou). Na základě tohoto bylo zjištěno, že přesné stříhání je ziskovější, neboť u stávající technologie nastává bod zvratu při produkci 197 055 ks součástí, kdežto u nově navržené již při 157 139 ks, což ukazuje efektivnost zvolené výroby.

Ekonomické hodnocení uvedené v kapitole 5 potvrdilo, že volba nově navržené technologie přesného stříhání byla správná.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980, 216 s. eISBN 04-234-80.
2. GUIDI, Alfons. *Přistřihování a přesné stříhání*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1969, 140 s. eISBN 04-209-69.
3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tvaření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro maloseriovou výrobu*. vyd. 1. Praha: SNTL, 1983, 213 s. eISBN 04-229-83.
5. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
6. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 2. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
8. Technologie plošného tváření-stříhání. PETR, Lenfeld. *Technologie II: tváření kovů, zpracování plastů* [online]. [2005] [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
9. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. 2003 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_vyroby\\_I\\_tvareni\\_gajdos.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf)
10. NEREZOVÁ OCEL 1.4016. *INOX, spol. s r. o.: Prodej nerezového materiálu* [online]. c 2009 [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: <http://inoxspol.cz/nerezova-ocel-14016.html>
11. *Nerezová ocel* [online]. 2008 [cit. 2013-02-18]. Dostupné z: [www.ferona.cz/file.php?id=162](http://www.ferona.cz/file.php?id=162)
12. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha, c 2013 [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
13. BIRZER, Franz. *Forming and fineblanking: cost effective manufacture of accurate sheetmetal parts*. Landsberg am Lech: Verlag Moderne Industrie, 1997, 70 s. ISBN 34-789-3161-4.
14. Akademie tváření: Stříhání. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. *MM Průmyslové spektrum* [online]. c2013 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
15. Technology. *Feintool* [online]. c2013 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://www.feintool.com/en/products-services/fineblanking/technology.html>
16. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

17. *Mastr: Všetko pre tvárnenie plechu*. Trnava, 2012. Dostupné z: <http://www.mastr.sk/pdf/odvijak.pdf>
18. *Mastr: Všetko pre tvárnenie plechu*. Trnava, 2012. Dostupné z: <http://www.mastr.sk/pdf/PRPM.pdf>
19. Přímé náklady. *ManagementMania* [online]. © 2011-2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/prime-naklady>
20. Nepřímé náklady. *ManagementMania* [online]. © 2011-2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/neprime-naklady>
21. Bod zvratu. *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 11.9.2012 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Bod\\_zvratu](http://cs.wikipedia.org/wiki/Bod_zvratu)
22. Laser. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 5.4.2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
23. Technologie. *CHPS s.r.o.: Řezání vodním paprskem, řezání laserem, zpracování kovů* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/rezani-laserem/technologie.html>
24. Řezání vodním paprskem. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 29.3.2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD\\_vodn%C3%ADm\\_paprskem](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem)
25. Co je to řezání vodním paprskem. *Řežeme vodou: Řezání vodním paprskem Ostrava* [online]. ©2011 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
26. Lisy pro přesné střihání a tváření - fineblanking. *Kontura tools: Váš partner v lisovací technice* [online]. © 2007-2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.konturatools.cz/lisy-pro-presne-strihani-a-tvareni-feintool.php>
27. Products: Fine Blanking Parts. *Velmo International Inc.: Precision Industrial Products* [online]. © 2000-2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: [http://www.velmoinc.com/product\\_view.php?action=view&id=105](http://www.velmoinc.com/product_view.php?action=view&id=105)
28. Processes/Products: Fine Blanking. *Peterson Enterprises: Your partner for sourcing engineered components* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://petersonenterprises.com/processesproducts/metal-stamping/fine-blanking>
29. *Feintool* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.feintool.com/en.html>
30. FÜRBAKER, Ivan, Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: kovy, plasty, keramika, kompozity*. Praha: Dashöfer, 2001, 4 sv. (na volných listech). ISBN 80-862-2902-5.

31. ROBOTKA, Tomáš. *Výroba bočnicekladky technologií přesného stříhání*. Brno, 2009. 69 s. Dostupné z:  
[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=14099](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14099).  
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Obor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D. Oponent práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.
32. LENFELD, Petr. Technologie tváření kovů. *Technologie II: tváření kovů, zpracování plastů* [online]. 2005 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
33. AUGSTE, Jakub. *Výroba části zámku automobilu přesným stříháním*. Brno, 2009. 78 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Obor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D. Oponent práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
34. *Ferona, a.s.: Velkoobchod hutním materiálem* [online]. © 2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://ferona.cz/cze/index.php>



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$A_c$	Celková práce	[J]
$A_s$	Střížná práce	[J]
$A_{s1}$	Práce pro vystřížení jednoho výstřížku	[J]
$A_{sc}$	Práce pro vystřížení dvou výstřížků	[J]
$A_p$	Práce přidržovače	[J]
$A_{p1}$	Práce přidržovače pro jeden výstřížek	[J]
$A_{pc}$	Práce přidržovače pro dva výstřížky	[J]
$A_v$	Práce vyhazovače	[J]
$A_{v1}$	Práce vyhazovače pro jeden výstřížek	[J]
$A_{vc}$	Práce vyhazovače pro dva výstřížky	[J]
$a$	Vzdálenost nátlachné hrany od křivky stříhu	[mm]
$B$	Šířka svitku	[mm]
$B_t$	Šířka pásu z tabule	[mm]
$B_k$	Potřebný počet kolíků	[ks]
$C_p$	Cena za 1 kg materiálu	[Kč/kg]
$C_{pm}$	Nákupní cena materiálu	[Kč]
$C_o$	Cena odpadu na sérii	[Kč]
$C_{ODP}$	Cena za 1 kg odpadu	[Kč/kg]
$c$	Součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
$D_s$	Vnější průměr bubnu	[mm]
$d$	Průměr střížníku	[mm]
$d_s$	Vnitřní průměr bubnu	[mm]
$d_p$	Průměr dosedací plochy střížníku	[mm]
$d_{kt}$	Průměr tlačného kolíku	[mm]
$d_{kv}$	Průměr vyhazovacího kolíku	[mm]
$d_{min400}$	Minimální průměr otvoru (pro $R_m = 400$ MPa)	[mm]
$d_{min630}$	Minimální průměr otvoru (pro $R_m = 630$ MPa)	[mm]
$E$	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
$F_s$	Střížná síla	[N]
$F_{s1}$	Střížná síla pro vystřížení jednoho výstřížku	[kN]
$F_{sc}$	Střížná síla pro vystřížení dvou výstřížků najednou	[kN]
$F_{Smax}$	Maximální střížná síla	[N]
$F_p$	Síla přidržovače	[N]
$F_{p1}$	Síla přidržovače pro vystřížení jednoho výstřížku	[kN]
$F_{pc}$	Síla přidržovače pro vystřížení dvou výstřížků	[kN]
$F_c$	Celková síla	[N]
$F_v$	Síla vyhazovače	[N]
$F_{v1}$	Síla vyhazovače pro vystřížení jednoho výstřížku	[kN]
$F_{vc}$	Síla vyhazovače pro vystřížení dvou výstřížků	[kN]
$F_{krit}$	Kritická síla	[N]
$FN$	Fixní náklady	[Kč]
$H$	Tloušťka střížnice	[mm]
$h$	Výška nátlachné hrany	[mm]
$h_s$	Hloubka vniknutí střížné hrany	[mm]
$h_1$	Výška odlehčení za nátlachnou hranou	[mm]
$I$	Moment setrvačnosti	[mm <sup>4</sup> ]
$JR$	Jmenovitý rozměr součásti	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
$J_M$	Jednicové mzdy	[%]
$K$	Délka kroku	[mm]
$K_A$	Součinitel hloubky vtlačení	[mm]
$K_p$	Výše sociálního a zdravotního pojištění	[%]
$k$	Využití svitku plechu	[%]
$k_t$	Využití tabule plechu	[%]
$L$	Délka křivky stříhu	[mm]
$L_h$	Délka nátláčné hrany	[mm]
$L_t$	Délka pásu	[mm]
$l_{krit}$	Kritická délka střížníku	[mm]
$l_s$	Celková délka svitku	[mm]
$l_d$	Vzdálenost k prvnímu stříhanému výstřížku v prvním řádku	[mm]
$l_0$	Nevyužitá část plechu	[mm]
$m_t$	hmotnost tabule	[kg]
$m_p$	hmotnost spotřebovaného plechu za rok	[kg]
$m_v$	hmotnost výstřížku v roční dávce	[kg]
$m_o$	hmotnost odpadu za rok	[kg]
$m_s$	hmotnost svitku	[kg]
$N_A$	Náklady na nástroj – postupové stříhání	[Kč]
$N_{CA}$	Celkové náklady – postupové stříhání	[Kč]
$N_{CjA}$	Celkové náklady na jednici – postupové stříhání	[Kč]
$N_{srA}$	Správní režie – postupové stříhání	[Kč]
$N_{vrA}$	Výrobní režie – postupové stříhání	[Kč]
$N_{pcA}$	Celkové mzdové náklady pro postupové stříhání	[Kč]
$N_{mzjA}$	Mzdové náklady na jednici – postupové stříhání	[Kč]
$N_{mA}$	Cena materiálu série – postupové stříhání	[Kč]
$N_{mjA}$	Cena materiálu jedné součásti – postupové stříhání	[Kč]
$N_B$	Náklady na nástroj – přesné stříhání	[Kč]
$N_{CB}$	Celkové náklady – přesné stříhání	[Kč]
$N_{CjB}$	Celkové náklady na jednici – přesné stříhání	[Kč]
$N_{srB}$	Správní režie – přesné stříhání	[Kč]
$N_{vrB}$	Výrobní režie – přesné stříhání	[Kč]
$N_{pcB}$	Celkové mzdové náklady pro přesné stříhání	[Kč]
$N_{mzjB}$	Mzdové náklady na jednici – přesné stříhání	[Kč]
$N_{mB}$	Cena materiálu série – přesné stříhání	[Kč]
$N_{mjB}$	Cena materiálu jedné součásti – přesné stříhání	[Kč]
$N_{ps}$	Přímé náklady na mzdy – stříhání pruhů	[Kč]
$N_{pn}$	Přímé náklady na mzdy – postupový nástroj	[Kč]
$N_{pd}$	Náklady na sociální a zdravotní pojištění	[Kč]
$N_P$	Přímé náklady na mzdy	[Kč]
$\Delta N_m$	Rozdíl nákladů na materiál	[Kč]
$n$	Koeficient vlivu vnějších podmínek	[-]
$n_c$	Počet výstřížků ze svitku	[ks]
$n_1$	Počet výstřížků v prvním řádku	[ks]
$n_2$	Počet výstřížků v druhém řádku	[ks]
$n_t$	Počet výstřížků z tabule	[ks]
$n_{Ctab}$	Celková spotřeba tabulí plechu	[ks]
$n_p$	Počet svitků na roční dávku	[ks]
$n_H$	Počet normohodin	[hod]

Označení	Legenda	Jednotka
$n_L$	Využitelný počet zdvihů lisu	$[\text{min}^{-1}]$
$n_{ssm}$	Počet součástí vyrobených za směnu	[ks]
$n_{sm}$	Počet směn	[ks]
$o_1$	Obvod hlavního střížníku	[mm]
$o_2$	Obvod malého otvoru	[mm]
$o_3$	Obvod velkého otvoru	[mm]
P	Přípustná míra opotřebení	[mm]
$P_p$	Počet pásů z tabule plechu	[ks]
$P_v$	Počet výstřížků z pásu	[ks]
p	Měrný tlak	[MPa]
$p_s$	Cena součásti	[Kč]
Q	Roční výrobní dávka	[ks]
R	Poloměr střížné hrany	[mm]
RAD	Rozměr střížníku při děrování	[mm]
RED	Rozměr střížnice při děrování	[mm]
REV	Rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
RAV	Rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
$R_a$	Drsnost	$[\mu\text{m}]$
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$R_e$	Mez pružnosti	[MPa]
$R_1$	Minimální poloměr rohů	[mm]
$R_{min}$	Minimální vnější poloměr rohů	[mm]
$r_{min}$	Minimální vnitřní poloměr rohů	[mm]
S	Plocha stříhu	$[\text{mm}^2]$
$S'$	Plocha stříhané součásti	$[\text{mm}^2]$
$S_t$	Plocha tabule plechu	$[\text{mm}^2]$
$S_{vys}$	Plocha výstřížku	$[\text{mm}^2]$
$S_{odp}$	Plocha odpadu z výstřížku	$[\text{mm}^2]$
$S_1$	Plocha odpadu malého otvor	$[\text{mm}^2]$
$S_2$	Plocha odpadu velkého otvor	$[\text{mm}^2]$
$S_S$	Celková plocha svitku	$[\text{mm}^2]$
$S_a$	Plocha, na kterou působí přitlačná síla	$[\text{mm}^2]$
$S_{pt}$	Plocha průřezu tlačného kolíku	$[\text{mm}^2]$
$S_b$	Plocha, na kterou působí vyhazovací síla	$[\text{mm}^2]$
$S_{pv}$	Plocha průřezu vyhazovacího kolíku	$[\text{mm}^2]$
$S_R$	Správné režie	[%]
$S_t$	Plocha tabule plechu	$[\text{m}^2]$
$S_{stř}$	Plocha průřezu střížníku	$[\text{mm}^2]$
s	Tloušťka materiálu (plechu)	[mm]
Š	Šířka tabule plechu	[mm]
TS	Tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
TE	Výrobní tolerance střížnice	[mm]
TA	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
$T_s$	Životnost nástroje	[roky]
$T_c$	Celkové tržby	[Kč]
$t_v$	Výrobní čas	[hod]
$t_k$	Kontrolní čas	[hod]
$t_u$	Čas na údržbu	[hod]
VČ	Čas na výrobu nástroje	[Nh]

Označení	Legenda	Jednotka
$V_R$	Výrobní režie	[%]
$vn$	Variabilní náklady	[Kč]
$v$	Střížná vůle	[mm]
$W_1$	Minimální vzdálenost mezi otvory	[mm]
$W_2$	Minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou	[mm]
$Z$	Zisk nářad'ovny	[Kč]
$Z_T$	Rozdíl v ziscích jednotlivých variant	[Kč]
$Z_R$	Zpracovatelské režie	[Kč]
$Z_N$	Zpracovatelské náklady	[Kč]
$Z_A$	Bod zvratu pro postupové stříhání	[ks]
$Z_B$	Bod zvratu pro přesné stříhání	[ks]
$Z_{CA}$	Zisk – postupové stříhání	[Kč]
$Z_{CB}$	Zisk – přesné stříhání	[Kč]
$z$	Střížná mezera	[mm]

$\alpha$	Úhel	[°]
$\beta$	Vnější úhel přitlačné hrany	[°]
$\gamma$	Vnitřní úhel přitlačné hrany	[°]
$\lambda$	Součinitel plnosti diagramu	[-]
$\mu$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho$	Hustota materiálu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma$	Napětí v tlaku	[MPa]
$\sigma_D$	Dovolené napětí v tlaku	[MPa]
$\sigma_3$	Tlakové napětí	[MPa]
$\sigma_{3C}$	Celkové hlavní tlakové napětí	[MPa]
$\Delta\sigma_3$	Přídavné tlakové napětí	[MPa]
$\tau_s$	Pevnost ve stříhu	[MPa]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady dílců vyráběných přesným stříháním .....	10
Obr. 2 Model vyráběné součásti.....	11
Obr. 3 Řezání laserem .....	12
Obr. 4 Dílce stříhání přesným stříháním .....	14
Obr. 5 První fáze stříhání – oblast pružné deformace .....	15
Obr. 6 Druhá fáze – oblast plastických deformací .....	16
Obr. 7 Třetí fáze – oddělení materiálu .....	16
Obr. 8 Deformační pásma na střížné ploše .....	16
Obr. 9 Diagram závislosti dráhy střížníku na střížné síle .....	17
Obr. 10 Průběh střížné síly v závislosti na dráze .....	18
Obr. 11 Diagram střížné práce .....	18
Obr. 12 Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle .....	19
Obr. 13 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery .....	20
Obr. 14 Přesné stříhání se zaoblenými střížnými hranami .....	21
Obr. 15 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem .....	22
Obr. 16 Způsoby přistříhování .....	22
Obr. 17 Kalibrování otvorů .....	23
Obr. 18 Postup přesného stříhání .....	24
Obr. 20 Stav napjatosti .....	25
Obr. 19 Schéma napjatosti při přesném stříhání .....	25
Obr. 21 Velikost střížné vůle při přesném stříhání .....	28
Obr. 22 Tvar a rozměry tlačné hrany .....	29
Obr. 23 Minimální velikost postranního odpadu a můstku .....	31
Obr. 24 Optimální velikost poloměrů rohů a hran vystříhovaných součástí .....	32
Obr. 25 Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami.....	33
Obr. 26 Kvalita střížné plochy .....	33
Obr. 27 Oceli vhodné pro přesné stříhání .....	35
Obr. 28 Nástříhový plán .....	41
Obr. 29 Plocha výstřížku .....	44
Obr. 30 Délka křivky.....	44
Obr. 31 Křivka nátlčné hrany .....	45
Obr. 32 Rozměry nátlčných hran.....	47

Obr. 33 Nástřihový plány pro variantu A.....	49
Obr. 34 Nástřihový plán pro variantu B.....	50
Obr. 35 Nástřihové plány variant C a D.....	51
Obr. 36 Nástřihové plány variant E a F.....	52
Obr. 37 Schéma výrobní linky .....	58
Obr. 38 Bod zvratu pro postupové stříhání .....	68
Obr. 39 Bod zvratu pro přesné stříhání s nátláčnou hranou .....	68

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu .....	11
Tab. 2.1 Hloubka součinitele vtlačení $K_A$ do materiálu .....	19
Tab. 2.2 Velikost střížné vůle.....	20
Tab. 2.3 Tabulka hodnot pro tlačnou hranu .....	30
Tab. 2.4 Rozměry nátláčné hrany na přidržovači podle firmy Feintool .....	30
Tab. 2.5 Rozměry nátláčné hrany na přidržovači i střížinice podle firmy Feintool .....	30
Tab. 2.6 Velikost můstků a postranních odpadů podle firmy Hydrel .....	31
Tab. 2.7 Minimální průměr otvoru $d$ a minimální šířka drážky $b$ .....	32
Tab. 2.8 Dosahované rozměrové přesnosti .....	34
Tab. 2.9 Přehled vybraných materiálů dle ČSN pro přesné stříhání .....	35
Tab. 2.10 Závady při přesném stříhání .....	36
Tab. 4.1 Varianta B .....	50
Tab. 4.2 Varianta C .....	50
Tab. 4.3 Varianta D .....	50
Tab. 4.4 Varianta E .....	51
Tab. 4.5 Varianta F.....	51
Tab. 4.6 Srovnání využití plechu jednotlivých variant nástřihových plánů.....	52
Tab. 4.7 Technické parametry lisu HFA 4000smartline .....	58
Tab. 5.1 Vstupní hodnoty .....	59
Tab. 5.2 Vstupní hodnoty materiálu pro postupové stříhání .....	59
Tab. 5.3 Vstupní hodnoty materiálu pro stříhání s nátláčnou hranou .....	61
Tab. 5.4 Cena materiálu pro nástroj .....	65

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1 - Lis HFA 4000smartline od firmy Feintool

Příloha č. 2 - Odvíják JO 300/3000

Příloha č. 3 - Podávací rovnačka plechu RPMA 300/80

Příloha č. 4 - Minimální velikost modulu ozubení

Příloha č. 5 - Schéma nástroje – pohyblivý střižník a nepohyblivý přidržovač

Příloha č. 6 - Schéma nástroje – nepohyblivý střižník a pohyblivý přidržovač

Příloha č. 7 - Materiálový list oceli 17 040

Příloha č. 8 - Graf ke stanovení součinitele plnosti

Příloha č. 9 - Výpočet využití plechu pro variantu B

Příloha č. 10 - Výpočet využití plechu pro variantu C

Příloha č. 11 - Výpočet využití plechu pro variantu D

Příloha č. 12 - Výpočet využití plechu pro variantu E

Příloha č. 13 - Výpočet využití plechu pro variantu F

Příloha č. 14 – Tabulka materiálů pro funkční části nástroje

Výkresová dokumentace



## PŘÍLOHA 1/1



Fineblanking press Typ	HFA 4000smartline	HFA 6300smartline	HFA 8000smartline
------------------------	-------------------	-------------------	-------------------

### Forces

Total force	min. - max. kN	2500 - 4000	4000 - 6300	5000 - 8000
Vee-ring force	min. - max. kN	200 - 2000	320 - 3200	400 - 4000
Counterforce	min. - max. kN	100 - 1000	160 - 1600	200 - 2000
Ejector force	max. kN	365	520	800
Stripper force	max. kN	520	520	800
Scrap chopper blade force	kN	310	310	750

### Stroke distances

Ram strokes at max./min. tool heights	mm	150/230	150/230	200/305
Vee-ring stroke	max. mm	40	40	40
Counterforce stroke	max. mm	40	40	40
Ram stroke rate (according to part)	up to n/min	60	50	45

### Ram speeds

Blanking speed	min.-max. mm/s	5 - 50	5 - 50	5 - 50
Closing speed	mm/s	150	150	150
Return speed	mm/s	150	150	150

### Material feed

Feed steps	min.-max. mm	1-999.9	1-999.9	1-999.9
Feed step increments	mm	0.1	0.1	0.1
Strip length	min. mm	3400	3700	3950
Strip width	min.-max. mm	40 - 350	40 - 450	40 - 450
Material thickness	max. mm	16	16	16

### Power ratings

Total power	50Hz/60Hz approx. kW	100/114	120/137	165/188
Main drive	50Hz/60Hz kW	90/104	110/127	132/152

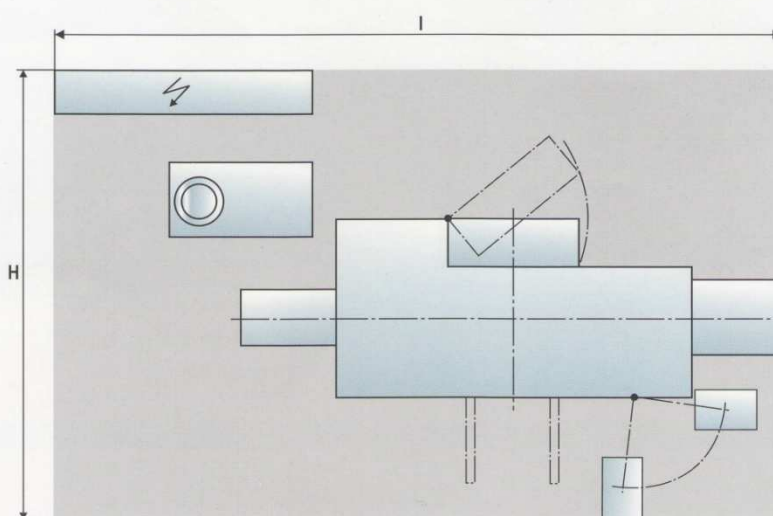
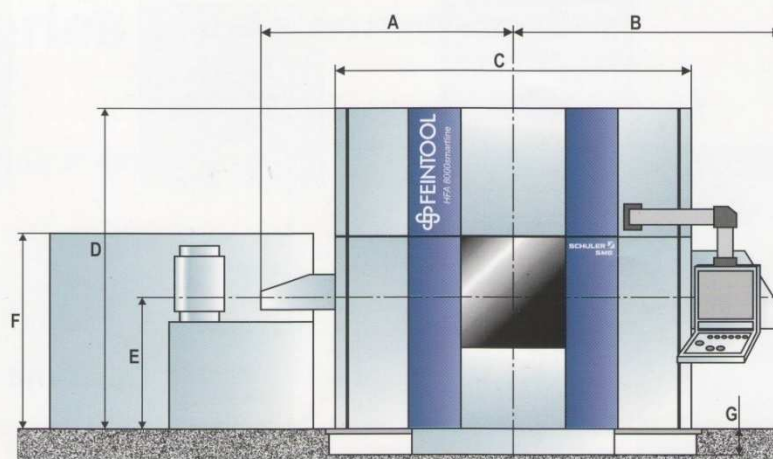
### Hydraulic unit

Tank capacity	liter	2000	2000	2500
---------------	-------	------	------	------

### Weight

Total weight of installation ready for operation	approx. kg	33 000	41 000	62 000
--	------------	--------	--------	--------

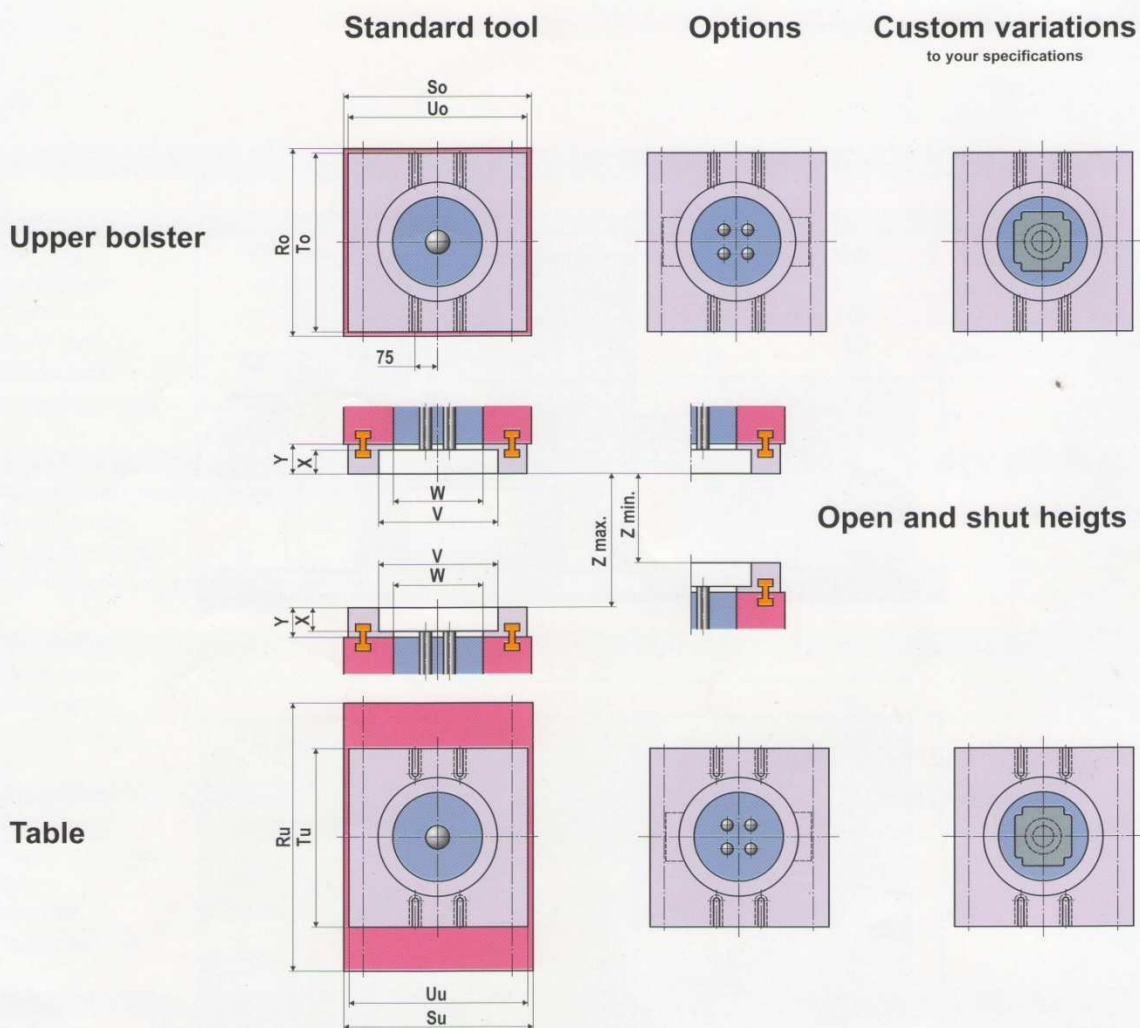
## Technical data series HFAsmartline



Press dimensions		HFA 4000smartline	HFA 6300smartline	HFA 8000smartline
A	mm	2560	2660	2785
B	mm	2520	2680	2930
C	mm	3600	3850	4200
D	mm	3530	3630	4040
E min. - max.	mm	1580-1700	1580-1700	1680-1820
F	mm	2200	2200	2200
G	mm	360	520	775
H	mm	5800	6000	7300
I	mm	8000	8200	9300

Rights reserved to data modifications for technical improvement reason.

## Tool space dimensions



Fineblanking press Typ HFA 4000smartline HFA 6300smartline HFA 8000smartline

### Tool space

Upper bolster	$So \times Ro$	mm	800 x 800	900 x 900	1000 x 1000
Table	$Su \times Ru$	mm	810 x 1000	910 x 1260	1010 x 1400
Open heights	$Z_{min.-max.}$	mm	330 - 410	330 - 410	355 - 460
Shut heights	max.	mm	400	400	450
Vee-ring and counterforce cylinder diameters	$W$	mm	300	300	380
Indication accuracy of tool height display		mm	0.01	0.01	0.01
Upper toolchange plate dimensions	$Uo \times To$	mm	790 x 760	790 x 760	960 x 960
Lower toolchange plate dimensions	$Uu \times Tu$	mm	790 x 760	790 x 760	960 x 960
Toolchange plate height	$Y$	mm	100	100	140
Adaptor ring diameter	$V$	mm	400	400	500
Adaptor ring height	$X$	mm	80	80	120

## PŘÍLOHA 2/1

Odvíjak JO 300/3000: [17]

**MASTR s.r.o.**  
Mellenská 1, SK – 917 00 Trnava  
Tel.: +421 33 5347 081, 092, 093  
Fax: +421 33 5347 092, 093  
Email: masty@mastr.sk  
Internet: www.mastr.sk

**Bankové spojenie :**  
UniBank a.s. - pobočka Trnava  
Č. účtu : 35-44 15/11200  
IBAN : SK9912000000000000354415  
IČO : 34131264

**Odborný register :**  
Odborný súd Trnava  
Oblasť : Stro  
Vozňak : 16-46/T  
Konateľ :  
Ing. Dušan Holický

**MASTR**  
Všetko pre tvárnenie plechu \* Alles fuer Blechumformung \* All for Sheet Metal Working

### Odvíjaky zvitkov

**Odvíjaky zvitkov JO  
zabezpečujú jednoduché  
a bezpečné odvíjanie plechov.**

- Stabilný zvaraný rám
  - Pákové rozpínanie upínacieho mechanizmu pomocou kľuky
  - Vysokopevná zušľachtená hriadeľ uložená vo valivých ložiskách zabezpečujúca dostatočnú nosnosť a minimalizujúca možnosť ohnutia
  - Prestaviteľné opierky podľa šírky spracovaného zvitku
  - Prítlačná kladka proti rozvinutiu zvitku pri jeho rozstrihovaní. V závislosti od hrúbky odvíjaného plechu v dvoch veľkostiach.
  - Čelust'ová brzda proti rozvinutiu.
- 
- Rada JO bez pohonu s mechanickou dobrzdovacou brzdou
  - Rada JOM so ŠTART / STOP pohonom , ktorý tvorí motor s prevodovkou
  - Rada JOP s pohonom , ktorý tvorí motor s prevodovkou a umožňuje plynulú zmenu rýchlosti odvíjania frekvenčným meničom





## PŘÍLOHA 2/2

MASTR s.r.o.  
Moštenická 1, SK – 917 00 Trnava  
Tel.: +421 33 5347 091, 092, 093  
Fax: +421 33 5347 092, 093  
Email: mastr@mastr.sk  
Internet: www.mastr.sk

Bankové spojenie :  
UniBanka a.s. , pobočka Trnava  
Č. účtu : 35-44 15/1200  
IBAN : SK9912000000000000354415  
IČ DPH : SK2020393936  
IČO : 34131264

Obchodný register :  
Okresný súd Trnava  
Oddiel : 5/o  
Vložka: 1546/T  
Konateľ:  
Ing. Dušan Malachý

**MASTR**  
Všetko pre tvarenie plechu \* Alles fuer Blechumformung \* All for Sheet Metal Working

### Doplňkové prísľušenstvo

- Pneumatické rozpínanie upínacieho mechanizmu
- Hydraulické rozpínanie upínacieho mechanizmu
- Dvojstupňová prevodovka na zrýchlené upnutie zvitku pomocou páky
- Pneumaticky ovládaná bezpečnostná brzda proti rozvinutiu zvitku
- Pneumaticky ovládaná prítlačná kladka
- Hydraulicky ovládaná prítlačná kladka
- Pneumatická kladka s pohonom na navíjanie plechu nedostrihaného zvitku resp. odvíjanie plechu pri zavádzaní plechu do rovnačky
- Ovládanie pohonu ultrazvukovým snímačom , optickými snímačmi alebo difúznym snímačom s časovaním



Pohon odvíjajú cez čelnú prevodovku a reťazový prevod



Pneumatické rozpínanie zabezpečuje rotačný tandemový valec so zámkami



Pneumatická bezpečnostná brzda

Typ	Šírka plechu ( mm )	Vonkajší priemer ( mm )	Vnútorný priemer min. ( mm )	Vnútorný priemer max. ( mm )	Nosnosť ( kg )	Pohon
JO 200/600	200	1250	400	500	600	JOM , JOP
JO 200/1500	200	1400	460	530	1500	JOM , JOP
JO 200/3100	200	1400	460	530	3100	JOM , JOP
JO 300/1400	300	1250	460	530	1400	JOM , JOP
JO 300/3000	300	1400	460	530	3000	JOM , JOP
JO 400/2500	400	1400	460	530	2500	JOM , JOP
JO 500/4000	500	1400	460	530	4000	JOM , JOP
JO 650/4000	650	1400	460	530	4000	JOM , JOP
JO 800/3500	800	1400	460	530	3500	JOM , JOP
JO 1000/3000	1000	1400	460	530	3000	JOM , JOP

## PŘÍLOHA 3

Podávací rovnačka plechu RPMA 300/80: [18]

<b>MASTR s.r.o.</b> Mašinská 1, SK-917 00 Trnava Tel.: +421 33 5347 091, 092, 093 Fax: +421 33 5347 092, 093 Email: mastr@mastr.sk Internet: www.mastr.sk	Bankové spojenie : UniBanka a.s. - pobočka Trnava Č. účtu : 35-44 15/1200 IBAN : SK0912000000000000354415 IČ DPH : SK2000393936 IČO : 34131264	Obchodný register : Okresný súd Trnava Oddiel : Sro Vložba: 15-Ne/7 Konateľ: Ing. Dušan Melišky	 Všetko pre tvárnenie plechu * Alles fuer Blechumformung * All for Sheet Metal Working
--	---	--	---

### Podávacie rovnačky plechu

**Podávacie rovnačky plechu PRMA, PRMP zabezpečujú precízne vyrovnanie a podávanie plechu.**

- Konštrukčne rovnačka vychádza z rovnačky RPMA alebo RPMP
- CNC riadenie zabezpečuje synchronný servomotor v spolupráci so servosilovačom, ktorý obsahuje PLC a ovládací panel s klávesnicou
- Cez technologickú klávesnicu sa nastavuje :
  - Dĺžka podania \_ 0,1 až 9999,99 mm
  - Rýchlosť podania \_ 1 až 100%
  - Počet kusov
- Odmeriavanie dĺžky podania na rovaných valcoch alebo nezávisle



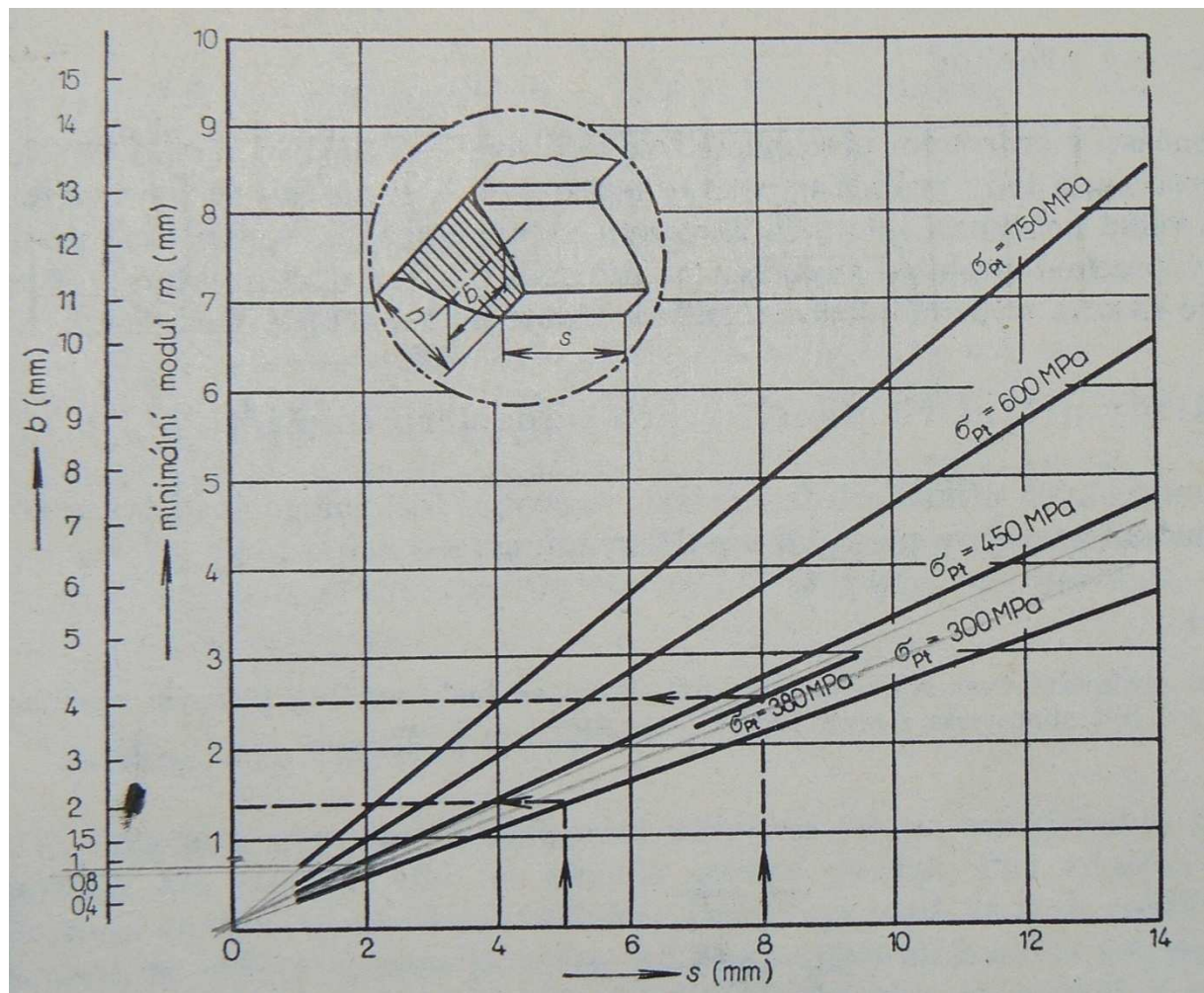
Podávacia rovnačka – typ PRMA 800/80 s tabuľovými nožnicami

Typ	Šírka plechu ( mm )	Hrúbka plechu min. ( mm )	Hrúbka plechu max. ( mm )	Max. prierez ( mm <sup>2</sup> )	Počet rovnacích valcov	Priemer valcov ( mm )
RPMA 200/60	200	0,4	4	200 x 5	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 300/60	300	0,4	4	300 x 3,3	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 400/60	400	0,4	4	400 x 2,5	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 500/60	500	0,4	4	500 x 2	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 650/60	650	0,4	4	650 x 1,6	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 800/60	800	0,4	2	800 x 1,25	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 1000/60	1000	0,4	2	1000 x 1,0	5 / 7 / 9 / 11	60
RPMA 200/80	200	0,6	6	200 x 6	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 300/80	300	0,6	6	300 x 5	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 400/80	400	0,6	6	400 x 5	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 500/80	500	0,6	6	500 x 4,5	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 650/80	650	0,6	6	650 x 3,8	5 / 7 / 9 / 11	80
RPMA 800/80	800	0,6	4	800 x 2,3	5 / 7 / 9 / 11	80



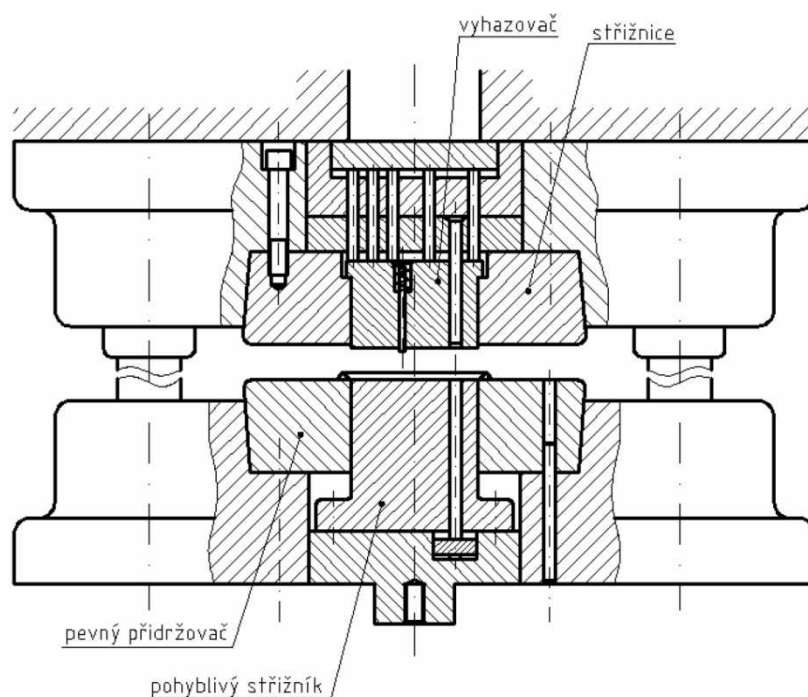
## PŘÍLOHA 4

Minimální velikost modulu ozubení: [1]



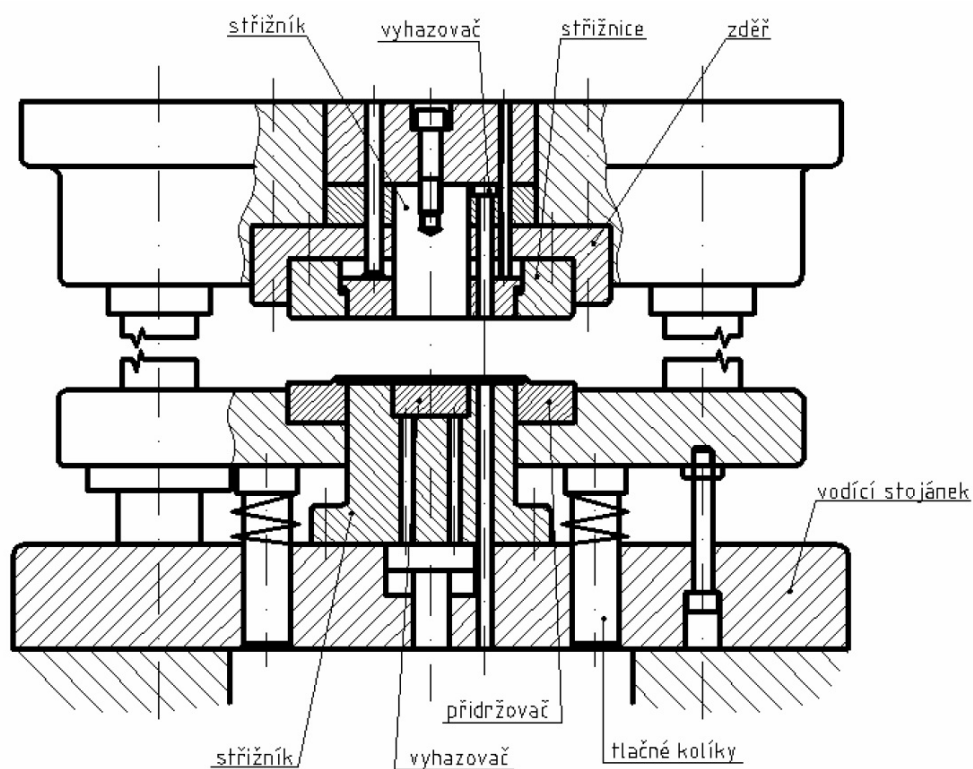
## PŘÍLOHA 5

Schéma nástroje – pohyblivý střížník a nepohyblivý přídržovač [31]



## PŘÍLOHA 6

Schéma nástroje – nepohyblivý střížník a pohyblivý přídržovač [31]





Materiálový list oceli 17 040: [30]

LEXIKON TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ

část 3, díl 10, 17040, str. 1

díl 10, oceli třídy 17

ČSN 41 7040

Korozivzdorná chromová ocel

OCEL

STN 41 7040

17 040

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti <sup>1)</sup>	P	S
max 0,10	max 0,90	max 0,70	16,0–18,5	max 0,60	max 0,30	max 0,040	max 0,035

Polotovary

[1] tenké plechy válcované za tepla  
 [2] tlusté plechy válcované za tepla  
 [3] tenké plechy válcované za studena

Mechanické vlastnosti

Polotovary	[1]	[2]	[3]					
Rozměr t, d [mm]	0,8–3,0	31–60	0,50–1,50					
Stav <sup>2)</sup>	.20 nebo .21	.2	.21					
Mez kluzu $R_e$ nebo $R_p$ 0,2 [MPa] min	245	265	–					
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	440–590	min 440	440–590					
Tažnost $A_5$ [%] min	22	18	23					
Kontrakce Z [%]	–	–	–					
Vrbová houževnatost KCU 2 [J . cm <sup>-2</sup> ]	–	–	–					
Tvrdost HB	127–169	–	127–160					
Modul pružnosti E [GPa]	–							
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	–							
Teplota [°C]	50	100	150	200	250	300	350	400
Nejnižší mez kluzu $R_p$ 0,2 [MPa] za zvýšených teplot [2]	255	245	235	230	226	221	216	206

Fyzikální vlastnosti

Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Rezistivita
$\rho$ [kg . m <sup>-3</sup> ]	$c_p$ [J . kg <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	$\alpha$ [K <sup>-1</sup> ]	$\lambda_1$ [W . m <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> ]	$\rho$ [Ω.m]
7 700	460	$9,4 \cdot 10^{-6}$	18,84	$620 \cdot 10^{-9}$

Odolnost proti degradačním procesům

ODOLNOST PROTI PLOŠNÉ KOROZI

velmi dobře odolává atmosférické korozi a působení vody a páry; kyselině dusičné a slabým organickým a anorganickým kyselinám odolává lépe než ocel 17 020; odolnost proti korozi se zvyšuje leštěním; není citlivá ke korozi pod napětím

ODOLNOST PROTI OXIDACI ZA ZVÝŠENÝCH TEPLŮT

na vzduchu do 850 °C

v oxidačním sirném prostředí (obsahujícím SO<sub>2</sub>) do 825 °C

v redukčním sirném prostředí (obsahujícím H<sub>2</sub>S) do 800 °C







# PŘÍLOHA 7/3

Materiálový list oceli 17 040: [30]

LEXIKON TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ

část 3, díl 10, 17040, str. 3

díl 10, oceli třídy 17

Porovnání se zahraničními materiály

ISO		EURO		Německo	
Type 8	ISO 683/XIII-86	X6Cr17 X6Cr17 X8Cr17 KD	EN 88/1-2-86 EN 10088/1-3-95 EN 119-74	X6Cr17 X6Cr17 X6Cr17 X6Cr17 X6Cr17	DIN 17441-85 DIN 17155 DIN 17456 DIN 5512 DIN EN 10088/1-3-95
Francie		Velká Británie		Rusko	
Z8Cr17 X6Cr17	NF A35-574-90 NFEN10088/1-3-95	430S18 430S17 X6Cr17	BS 1554-90 BS 970/1-91 BS EN10088/1-3-95	12Ch17	GOST 5632-72
USA		Japonsko		Kanada	
Type 430 Type 430 Type 430 Type 430 Type 430	ASTM A276-80a ASTM A176 ASTM A213 ASTM A240 ASTM A314	SUS 430 SUS 430 SUS 430 SUS 430 SUS 43	JIS G4303-91 JIS G4304-91 JIS G4305-91 JIS G4307-87 JIS G4303-81	-	-
Itálie		Rakousko		Švédsko	
X8Cr17 X8Cr17 X8Cr17 X6Cr17	UNI 8317-81 UNI 6901-71 UNI 6904-71 UNI EN10088/1-3-95	-	-	2320	SS 142320
Polsko		Maďarsko		Norsko	
H17	PN H-86020-71	H 16 KO 3	MSZ 4359-82 MSZ 4360-87	-	-
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
-	-	-	-	X6Cr17 F.3113 X6Cr17	UNE 36016/1-90 UNE 36016/1-90 UNE EN 10088/1-3-96
Austrálie		Bulharsko		Brazílie	
430 430	AS 1449-94 AS 2837-86	Ch17	BDS 6738-72	V 430	Br.800
Čína		Rumunsko			
1Cr15 1Cr17 1Cr17 1Cr17 ML 1Cr17	GB 12770-91 GB 1220-84 GB 4239-91 GB 4238-91 GB 12770-91	8Cr170	STAS 3583-87	-	-

## PŘÍLOHA 7/4

Materiálový list oceli 17 040: [30]

část 3, díl 10, 17040, str. 4

LEXIKON TECHNICKÝCH MATERIÁLŮ

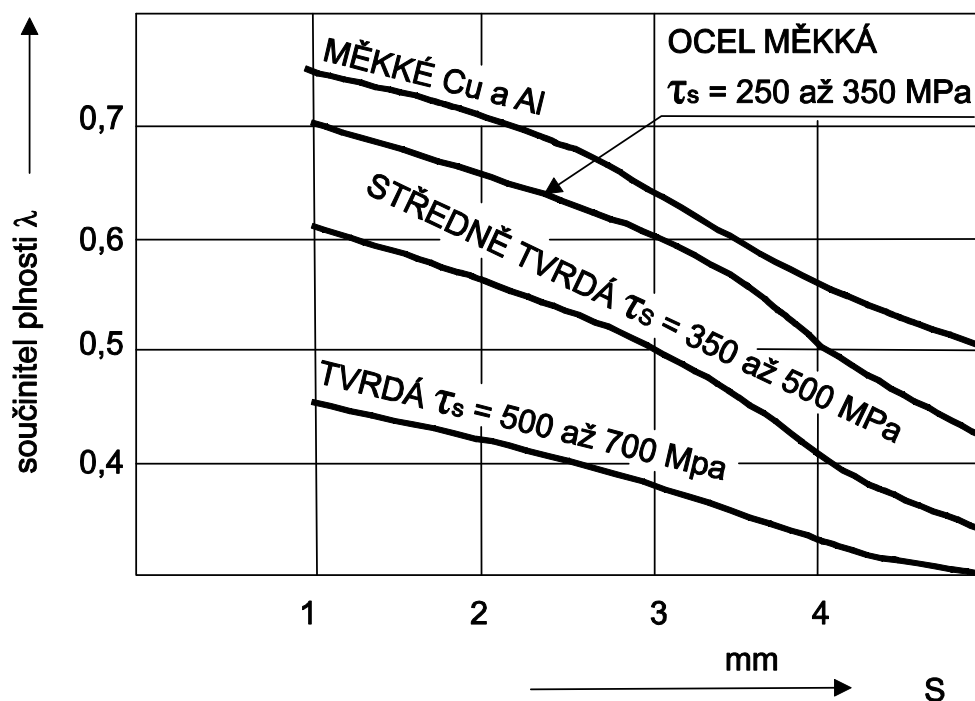
díl 10, oceli třídy 17

**Poznámky**

- 1) po dohodě se dodává s Ti jako technologickou přísadou do obsahu max 0,30 %
- 2) .x0 – nepřeválcováno  
.x1 – lehce převálcováno
- 3) pro zlepšení korozivzdornosti

## PŘÍLOHA 8

Graf ke stanovení součinitele plnosti [5]



## PŘÍLOHA 9

Výpočet využití plechu pro variantu B:

Délka kroku:  $K = 123 \text{ mm}$

Šířka svitku:  $B = 75 \text{ mm}$

Nevyužitá část plechu:  $l_0 = 100 \text{ mm}$

Vzdálenost k prvnímu stříhanému výstřižku v prvním řádku:  $l_d = 160,5 \text{ mm}$

$$n_{B1} = \frac{l_s - l_0 - l_d}{K} = \frac{270000 - 100 - 160,5}{123} = 2193,1 = 2193 \text{ ks}$$

$$n_{B2} = \frac{l_s - l_0}{K} = \frac{270000 - 100}{123} = 2194,3 = 2194 \text{ ks}$$

$$n_B = n_{B1} + n_{B2} = 2193 + 2194 = 4387 \text{ ks}$$

Ekonomické využití varianty B:

$$S_S = l_s \cdot B = 270000 \cdot 75 = 20250000 \text{ mm}^2$$

$$k_B = \frac{(S_{\text{vys}} + S_{\text{odp}}) \cdot n_B}{S_S} \cdot 100$$

$$k_B = \frac{(1640,574 + 666,016) \cdot 4387}{20250000} \cdot 100 = 50 \%$$

## PŘÍLOHA 10

Výpočet využití plechu pro variantu C:

Délka kroku:  $K = 37 \text{ mm}$

Šířka svitku:  $B = 205 \text{ mm}$

Nevyužitá část plechu:  $l_0 = 100 \text{ mm}$

Vzdálenost k prvnímu stříhanému výstřižku v prvním řádku:  $l_d = 37 \text{ mm}$

$$n_{C1} = \frac{l_s - l_0 - l_d}{K} = \frac{270000 - 100 - 37}{37} = 7293,6 = 7293 \text{ ks}$$

$$n_{C2} = \frac{l_s - l_0}{K} = \frac{270000 - 100}{37} = 7294,6 = 7294 \text{ ks}$$

$$n_C = n_{C1} + n_{C2} = 7293 + 7294 = 14587 \text{ ks}$$

Ekonomické využití varianty C:

$$S_S = l_s \cdot B = 270000 \cdot 205 = 55350000 \text{ mm}^2$$

$$k_C = \frac{(S_{\text{vys}} + S_{\text{odp}}) \cdot n_C}{S_S} \cdot 100$$

$$k_C = \frac{(1640,574 + 666,016) \cdot 14587}{55350000} \cdot 100 = 60,8 \%$$

## PŘÍLOHA 11

Výpočet využití plechu pro variantu D:

Délka kroku:  $K = 43 \text{ mm}$

Šířka svitku:  $B = 185,5 \text{ mm}$

Nevyužitá část plechu:  $l_0 = 100 \text{ mm}$

Vzdálenost k prvnímu stříhanému výstřižku v prvním řádku:  $l_d = 43 \text{ mm}$

$$n_{D1} = \frac{l_s - l_0 - l_d}{K} = \frac{270000 - 100 - 43}{43} = 6275,7 = 6275 \text{ ks}$$

$$n_{D2} = \frac{l_s - l_0}{K} = \frac{270000 - 100}{43} = 6276,7 = 6276 \text{ ks}$$

$$n_D = n_{D1} + n_{D2} = 6275 + 6276 = 12551 \text{ ks}$$

Ekonomické využití varianty D:

$$S_S = l_s \cdot B = 270000 \cdot 185,5 = 50085000 \text{ mm}^2$$

$$k_D = \frac{(S_{\text{vys}} + S_{\text{odp}}) \cdot n_D}{S_S} \cdot 100$$

$$k_D = \frac{(1640,574 + 666,016) \cdot 12551}{50085000} \cdot 100 = 57,8 \%$$

## **PŘÍLOHA 12**

Výpočet využití plechu pro variantu E:

Délka kroku:  $K = 74 \text{ mm}$

Šířka svitku:  $B = 106 \text{ mm}$

Nevyužitá část plechu:  $l_0 = 100 \text{ mm}$

Vzdálenost k prvnímu stříhanému výstřižku v prvním řádku:  $l_d = 37 \text{ mm}$

$$n_{E1} = \frac{l_s - l_0 - l_d}{K} = \frac{270000 - 100 - 37}{74} = 3646,8 = 3646 \text{ ks}$$

$$n_{E2} = \frac{l_s - l_0}{K} = \frac{270000 - 100}{74} = 3647,3 = 3647 \text{ ks}$$

$$n_E = n_{E1} + n_{E2} = 3646 + 3647 = 7293 \text{ ks}$$

Ekonomické využití varianty E:

$$S_S = l_s \cdot B = 270000 \cdot 106 = 28620000 \text{ mm}^2$$

$$k_E = \frac{(S_{\text{vys}} + S_{\text{odp}}) \cdot n_E}{S_S} \cdot 100$$

$$k_D = \frac{(1640,574 + 666,016) \cdot 7293}{28620000} \cdot 100 = 58,7 \%$$

## **PŘÍLOHA 13**

Výpočet využití plechu pro variantu F:

Délka kroku:  $K = 85,5 \text{ mm}$

Šířka svitku:  $B = 96,5 \text{ mm}$

Nevyužitá část plechu:  $l_0 = 100 \text{ mm}$

Vzdálenost k prvnímu stříhanému výstřižku v prvním řádku:  $l_d = 43 \text{ mm}$

$$n_{F1} = \frac{l_s - l_0 - l_d}{K} = \frac{270000 - 100 - 43}{85,5} = 3156,2 = 3156 \text{ ks}$$

$$n_{F2} = \frac{l_s - l_0}{K} = \frac{270000 - 100}{85,5} = 3156,7 = 3156 \text{ ks}$$

$$n_F = n_{F1} + n_{F2} = 3156 + 3156 = 6312 \text{ ks}$$

Ekonomické využití varianty E:

$$S_S = l_S \cdot B = 270000 \cdot 96,5 = 26055000 \text{ mm}^2$$

$$k_F = \frac{(S_{vys} + S_{odp}) \cdot n_F}{S_S} \cdot 100$$

$$k_F = \frac{(1640,574 + 666,016) \cdot 6312}{26055000} \cdot 100 = 55,8 \%$$

## PŘÍLOHA 14

Tabulka materiálů pro funkční částí nástroje [1]

Funkční část nástroje		Materiál	Tepelné zpracování
střížnice		19 436	kaleno a popouštěno na: 61 ÷ 63 HRC pro s = 0,4 ÷ 3 mm
		19 437	58 ÷ 61 HRC pro s = 3 ÷ 7 mm
		slinutý karbid	pro sérii nad 700000 ks
střížník kruhový	dříková část	19 437	59 ÷ 61 HRC pro s = 0,4 ÷ 3 mm 58 ÷ 60 HRC pro s = 3 ÷ 7 mm
		slinutý karbid	pro sérii nad 700000 ks
	hlava	19 437	56 ÷ 58 HRC
střížník tvarový	dříková část	19 312	59 ÷ 61 HRC
		slinutý karbid	pro sérii nad 700000 ks
	hlava	19 312	56 ÷ 58 HRC
přidržovač		19 437	55 ÷ 57 HRC
vyhazovač		19 436	58 ÷ 60 HRC
tlačný kolík		19 421	59 ÷ 61 HRC
		19 422	
opěrná deska		19 436	58 ÷ 60 HRC
zděř		19 452 - výkovek	kaleno a 2x popouštěno na 55 ÷ 57 HRC